



**TIAGO GOMES SILVA APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS *LEAN* NA
INDÚSTRIA CERÂMICA**



**TIAGO GOMES SILVA APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS *LEAN* NA
INDÚSTRIA CERÂMICA**

Relatório de Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizado sob a orientação científica do Doutor José António de Vasconcelos Ferreira, Professor Associado do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro.

o júri

Presidente

Prof. Doutora Maria João Machado Pires da Rosa
Professora auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Manuel Augusto de Pina Marques
Professor auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof. Doutor José António de Vasconcelos Ferreira
Professor associado da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Ao professor José António de Vasconcelos Ferreira pelo acompanhamento e apoio prestado no desenvolvimento do projeto.

À Vista Alegre pela oportunidade concedida para a realização do estágio, em particular à Eng^a. Joana Ribeiro por toda a dedicação, ajuda e conhecimento proporcionado ao longo deste período.

À família, amigos e namorada pelo suporte.

palavras-chave

Lean, valor, desperdício, fluxo, balanceamento, produtividade.

resumo

O presente trabalho expõe o estudo e melhoria do processo de enchimento de peças a alta pressão na Vista Alegre, através da aplicação de ferramentas *Lean*.

É apresentada uma revisão de literatura, visando o desenvolvimento da metodologia apropriada à aplicação ao projeto. Por meio da utilização de ferramentas *Lean*, tais como o mapeamento de fluxo de valor e balanceamento de linhas, foi possível aumentar em 25% a eficiência do processo e melhorar os índices de produtividade.

Ainda que certas ferramentas sejam mais simples quando aplicadas em indústrias de montagem, e com menor variabilidade, as ferramentas utilizadas constituem uma opção válida para qualquer sistema.

keywords

Lean, value, waste, flow, balancing, productivity.

abstract

The present paper exposes the study and improvement of the process of filling pieces by high pressure in Vista Alegre, by applying Lean tools.

A literature review is presented, seeking the development of the appropriate methodology to the execution of the project. By applying Lean tools, such as value stream mapping and line balancing, was possible to increase the process efficiency in 25% and improve the productivity indices.

Though certain tools are simple when implemented in assembly industries, and with less variability, the tools used present a valid option for any system.

ÍNDICE

1. Introdução.....	1
1.1 Contextualização do trabalho	1
1.2 Relevância do desafio	1
1.3 Estrutura do documento.....	2
2. Lean Manufacturing	5
2.1 Gênese.....	5
2.2 Definição	6
2.2.1 Redução do Desperdício	7
2.2.2 Criação de Valor.....	8
2.3 Benefícios e limitações	9
2.4 Lean Thinking versus Lean Production	10
2.4.1 Estratégia	11
2.4.2 Ferramentas	11
2.4.2.1 VSM	12
2.4.2.2 KPI's.....	14
2.4.2.3 Fluxo contínuo.....	15
2.4.2.4 Takt-time	16
2.4.2.5 Balanceamento	17
2.4.2.6 Análise de Gargalos	18
2.4.2.7 Simulação	18
2.4.2.8 Kaizen	19
2.5 Implementação da filosofia	19
3. Aplicação de Ferramentas Lean na Vista Alegre	21
3.1 Apresentação da Vista Alegre.....	21
3.1.1 Evolução.....	21
3.1.2 Informação relevante	22
3.1.2.1 Estrutura.....	22
3.1.2.2 Recursos Humanos	23
3.1.2.3 Produtos.....	23
3.1.2.4 Mercados	24
3.2 Processo produtivo - peças em Branco	25
3.3 Processo produtivo - enchimento a alta pressão.....	29
3.4 Objetivos	31

3.5 Metodologia.....	32
4. Resultados	35
4.1 Recolha e análise dos dados	35
4.1.1 Vidração.....	35
4.1.2 Acabamento.....	39
4.2 Construção do VSM	41
4.3 Definição de KPI's	45
4.3.1 Produtividade do acabamento MEAP	45
4.3.2 Produtividade da vidração.....	46
4.3.3 Eficiência do processo	46
4.4 Desenho do processo	47
4.5 Implementação.....	57
4.6 Avaliação dos benefícios.....	60
4.6.1 Produtividade da vidração.....	61
4.6.2 Produtividade do acabamento MEAP	62
4.6.3 Eficiência do processo	63
5. Conclusão	65
5.1 Reflexão sobre o trabalho realizado	65
5.2 Desenvolvimentos futuros	66
Referências Bibliográficas	67
Anexos	
Anexo A - Símbolos da ferramenta value stream mapping	
Anexo B - Tabela de apoio à análise ABC	
Anexo C - Quantidade de stock na secção de vidração, no final do dia antes (A) e depois (B) das alterações	
Anexo D - Estudo de diâmetro dos buffers a utilizar	
Anexo E - Estudo de simulação do acabamento MEAP	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre custo, valor e desperdício	8
Figura 2 - Níveis do sistema Lean.....	10
Figura 3 - Organigrama da Vista Alegre.....	22
Figura 4 - Peça decorativa VA	24
Figura 5 – Volume de negócios da VA por país	24
Figura 6 - Comparação entre volume de negócios no mercado interno e externo.....	25
Figura 7 - Processo produtivo de peças em branco	26
Figura 8 - Máquina roller para conformação por contramoldagem	27
Figura 9 - Processo de enchimento manual.....	27
Figura 10 - Chacotagem de peças	28
Figura 11 - Máquina de enchimento a alta pressão	29
Figura 12 - Vagona com peças vidradas.....	31
Figura 13 - Cronograma do projeto	34
Figura 14 - Gráfico do processo da vidração	36
Figura 15 - Layout das linhas 142 e 143 da vidração	37
Figura 16 - Tipos de vagonas existentes para enfora no F2.....	38
Figura 17 - Gráfico do processo do acabamento MEAP	39
Figura 18 - Layout MEAP	41
Figura 19 - Análise ABC	42
Figura 20 - Construção do VSM através de post-its.....	43
Figura 21 - Mapeamento do fluxo de valor.....	44
Figura 22 - Diagrama de precedências do processo de vidração.....	48
Figura 23 - Cavalete para transporte de peças	49
Figura 24 - Diagrama de precedências após alterações	52
Figura 25 - Modelo das linhas de vidração.....	52
Figura 26 - Desenho de solução da vidração.....	53
Figura 27 - Animação da secção antes (A) e depois (B) das alterações sugeridas	55
Figura 28 - Exemplo de ajuste de tempos a distribuições de probabilidade	56
Figura 29 – Desenho de solução do acabamento MEAP	57
Figura 30 - Layout final da vidração	58
Figura 31 - Layout final do acabamento MEAP	58
Figura 32 - Produtividade por linha	60
Figura 33 - Produtividade da vidração	61
Figura 34 - Produtividade do Acabamento da MEAP	62

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - % de operadores da VA por gênero	23
Tabela 2 - Média de idades da VA por grau de escolaridade	23
Tabela 3 - Desperdícios na vidração.....	35
Tabela 4 - Desperdícios no acabamento MEAP.....	39
Tabela 5 - Tempos de transporte no acabamento MEAP	40
Tabela 6 - Cálculo da produtividade das linhas após alterações	59

LISTA DE ACRÓNIMOS

F1 – Forno 1

F2 – Forno 2

KPI – Key performance indicator

LT – Lead time

ME – Mercado externo

MEAP – Máquina de enchimento a alta pressão

MI – Mercado interno

OEE – Overall equipment effectiveness

OPA – Oferta pública de aquisição

SME – Subject matter expert

VA – Vista Alegre

VAA – Vista Alegre Atlantis

VSM – Value stream mapping

WIP – Work in progress

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente relatório serve para a conclusão do segundo ciclo de estudos em Engenharia e Gestão Industrial. Relata um trabalho de projeto desenvolvido na Vista Alegre, organização conceituada mundialmente no fabrico de peças de porcelana utilitária e decorativa.

Foi proposto ao autor o uso de conhecimento obtido ao longo do percurso académico para a resolução estruturada do problema em causa: o aumento da eficiência da fábrica de branco, incidindo no processo de fabrico de peças obtidas através da conformação por enchimento a alta pressão.

A conjuntura atual obriga as organizações a apostarem em duas vertentes de forma a manterem-se competitivas: a luta intensiva pela redução de custos inerentes aos processos e o salto para a excelência, através da subida dos padrões existentes e procura de valor singular para o cliente.

O projeto em causa visa retirar o máximo aproveitamento dos recursos existentes, devido aos custos associados à baixa produtividade, às previsões de crescimento do mercado interno e à estratégia de internacionalização da organização, que passa pela introdução em mercados que se espera de elevado potencial de crescimento, preparando a mesma para um possível aumento do nível de procura.

O pensamento *Lean* tornou-se popular nos últimos anos, assistindo-se ao debate e estudo dos seus benefícios em diversas áreas académicas, como é o caso da Engenharia e Gestão Industrial.

Segundo diversos autores, a aplicação de metodologias *Lean* está intrinsecamente ligada à obtenção de vantagem competitiva, através da melhoria de várias variáveis que são do interesse deste projeto, tendo-se optado por explorar esta filosofia no decorrer do mesmo.

1.2 RELEVÂNCIA DO DESAFIO

O projeto apresentado permitirá à organização a redução de custos inerentes aos processos de fabrico e, consequentemente, o aumento da margem de lucro. Estes

esforços revelam-se determinantes para o processo de recuperação financeiro da organização.

Através da aplicação de ferramentas *Lean* é expectável o aumento dos índices de produtividade, produzindo mais em menos tempo, cumprindo prazos de entrega e melhorando os níveis de serviço da organização.

É possível ainda atingir os níveis atuais de produção com menos recursos, alocando estes noutras unidades fabris da organização, ou noutras áreas com falta de recursos, diminuindo assim os gastos da organização.

Espera-se ainda reduzir consideravelmente os custos de não qualidade associados ao acumular de inventário intermédio, através da criação de fluxo entre operações.

1.3 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Este documento encontra-se dividido em cinco capítulos, que pretendem proporcionar ao leitor a compreensão do trabalho elaborado.

O primeiro capítulo, “Introdução”, visou esclarecer informações relevantes relacionadas com o projeto desenvolvido, tais como descrição sucinta do problema a solucionar, empresa associada e metodologia usada.

O enquadramento teórico, presente no segundo capítulo, tem como objetivo apresentar a pesquisa efetuada na literatura existente acerca da metodologia utilizada. Para a resolução do problema proposto, importa neste capítulo encontrar soluções válidas e adequadas ao âmbito do projeto.

No terceiro capítulo, intitulado de “Aplicação de ferramentas *Lean* na Vista Alegre”, pretende-se apresentar a organização onde o projeto se desenvolve, bem como expor as metas a atingir. Insere-se ainda neste capítulo uma descrição dos passos levados a cabo no sentido de alcançar os objetivos propostos, de acordo com a metodologia utilizada e literatura pesquisada.

No capítulo “Resultados”, são apresentadas todas as ações executadas no decorrer do projeto. São ainda descritos os efeitos da aplicação de tais ações, bem como o balanço global do projeto.

No quinto capítulo, “Conclusão”, é apresentada a opinião do autor acerca do projeto desenvolvido, bem como potenciais ações a desenvolver no futuro para que o trabalho realizado possa ser potenciado.

2. LEAN MANUFACTURING

2.1 GÉNESE

Ainda que o termo *Lean* seja relativamente recente (usado em 1988 por John Krafcik (Holweg, 2007)) o pensamento associado pode ser encontrado um pouco por toda a história, apesar de não na totalidade do conceito conhecido atualmente. Este é fruto de um desenvolvimento progressivo ao longo dos tempos (Hines et al., 2004).

Womack (2002) afirma que Henry Ford foi a primeira pessoa a integrar completamente um processo produtivo. Apesar do processo implementado apresentar conceitos focados na redução de desperdício, como trabalho padronizado ou fluxo contínuo, apresentava algumas limitações, nomeadamente na oferta de variabilidade.

De acordo com Hines et al. (2004), o *Lean Manufacturing* descende das inovações criadas pela Toyota, consequência da escassez de recursos e competição interna que se vivia no Japão após a segunda guerra mundial, dando mais tarde origem ao que seria conhecido como *Toyota Production System* - um sistema híbrido (Holweg, 2007) que reinventa o pensamento produtivo de Henry Ford (Womack, 2002).

O livro “*The machine that changed the world*”, da autoria de James Womack, Daniel Jones e Daniel Ross, veio despertar o interesse do Ocidente na nova filosofia de produção, essencialmente devido à comparação entre os níveis de desempenho elevados da Toyota quando comparados com outros produtores automóveis (Hines et al., 2004). Este livro acaba por ser um marco na história do *Lean Manufacturing* na medida em que batiza o termo (Shah e Ward, 2007) e transforma este sistema produtivo num fenómeno à escala global.

A sua implementação frequente, bem como a divulgação de documentação relacionada com a mesma, proporciona um conhecimento alargado e um ambiente favorável ao crescimento exponencial da filosofia, que se sustenta num dos seus próprios pilares, o de melhoria contínua.

2.2 DEFINIÇÃO

Nos últimos anos, consoante o *Lean Thinking* se foi difundindo, surgiu uma vasta literatura acerca da filosofia, sendo sempre acompanhada por uma redefinição do termo. Womack et al. (1991) apontam esta filosofia como a melhor combinação das características da produção pré-industrial com a produção em massa.

Warnecke e Huser (1995) descrevem *Lean Manufacturing* como um conjunto de metodologias que se estendem a toda a organização e proporcionam à mesma um estado de competitividade, enquanto Liker (1996, *apud* Bhasin e Burcher, 2006) caracteriza-a como uma filosofia que permite a redução do *lead time* (LT) através da eliminação de fontes de desperdício.

Parks (2002) inclui como ponto nuclear na filosofia Lean a possibilidade de melhoria dos métodos atuais de trabalho, sendo que a aplicação da mesma é um processo “difícil que requer tempo e disciplina” e deve ser acompanhada por uma mudança cultural na organização de forma a “adotar uma forma diferente de fazer negócio”.

A definição de Shah e Ward (2003) assenta na redução de desperdício e no facto da filosofia ser transversal a toda a organização, mas também numa nova característica - a finalização de produtos ao ritmo da procura do cliente.

A criação de valor é apontada por Hines et al. (2004) como um ponto crítico na filosofia *Lean*, pensamento este que representa um desafio ao *status quo* de uma organização (Melton, 2005).

Oliver et al. (2007) descrevem que num sistema *Lean* os materiais fluem continuamente numa base *just-in-time*, sendo que o ênfase do sistema reside na prevenção de erros e não na sua retificação. Segundo Ortiz (2008), é uma abordagem à melhoria contínua que se estende a toda organização.

Conclui-se assim que apesar do termo estar a evoluir ao longo das últimas duas décadas, as definições apresentadas assentam numa premissa singular: a redução de desperdício. Esta eliminação pressupõe o conhecimento da cadeia de valor da organização, do que o cliente valoriza, que o desperdício se estende a toda a organização, que a produção é controlada pela procura, que paradigmas necessitam de ser quebrados e que existem sempre formas de otimizar o estado atual.

2.2.1 REDUÇÃO DO DESPERDÍCIO

Um dos pontos fulcrais da filosofia *Lean* é a completa eliminação de *muda* – palavra Japonesa para desperdício (Southworth, 2010). Pavnaskar et al. (2003) define-o como “qualquer coisa que impeça o fluxo de valor acrescentado de materiais, desde a matéria-prima até ao produto acabado”, enquanto Melton (2005) estabelece desperdício como qualquer atividade que não acrescente valor para o cliente final.

De acordo com Chen et al. (2010) todas as atividades pelas quais o cliente não está disposto a pagar constituem desperdício, isto é, tudo o que o impeça de receber um produto ou serviço realizado com “a qualidade exata, na quantidade certa, no tempo ideal e com preço ajustado” (Gemba Kaizen, 2012).

Southworth (2010) sugere uma lista de oito desperdícios, que podem ser caracterizados pelo acrónimo *DOWNTIME*, de seguida descritos:

- Defeitos (*Defects*) – erros ocorridos durante o processo;
- Excesso de produção (*Overproduction*) – produzir mais que o necessário ou antes do necessário;
- Espera (*Waiting*) – de pessoas, equipamentos ou produtos para serem processados;
- Subutilização das capacidades dos recursos humanos (*Non-utilized people*);
- Transporte (*Transportation*) – Movimento excessivo de materiais;
- Inventário (*Inventory*) – Demasiado trabalho em curso, produtos acabados ou matéria-prima;
- Movimento (*Motion*) – movimentos desnecessários durante o processo de produção;
- Sobreprocessamento (*Extra-processing*) – Operações adicionais no processamento que não acrescentam valor ao produto final.

Esta lista adiciona a subutilização de recursos humanos aos sete desperdícios mais mencionados na literatura existente, também conhecidos por “7 desperdícios mortais” (Chen et al., 2010).

O desperdício não deve ser visto como inevitável (Shingo, 1992 *apud* Pavnaskar et al., 2003) e os esforços levados a cabo devem incidir na identificação da causa raiz, isto é, na eliminação da verdadeira fonte de desperdício e não apenas do sintoma (Melton, 2005).

2.2.2 CRIAÇÃO DE VALOR

A filosofia *Lean* visa maximizar a criação de valor para o cliente minimizando os desperdícios inerentes ao processo. De facto Womack e Jones (1996) afirmam que “todo o pensamento industrial deve começar através da diferenciação entre valor e *muda*”.

A noção de valor diverge de cliente para cliente e contém uma enorme variedade de significados (Oliver et al., 2007), sendo este quem decide o que constitui valor no produto ou serviço oferecido (Hines et al., 2004; Womack e Jones, 2003). Assim, é necessário entender de forma robusta o que cada segmento de clientes valoriza de forma a avançar no percurso *Lean* (Melton, 2005).

Ainda que por vezes a criação de valor seja vista como sinónimo de redução de custos (Hines et al., 2004), a estratégia das organizações tem avançado no sentido da procura constante de valor através da remoção de atividades que não acrescentam utilidade do ponto de vista do cliente, ou da adição de novas características que estes valorizam.

Ainda segundo este autor, quanto mais valor um cliente acreditar que um produto tem para si, e o preço corresponder a esse valor, mais atrativo se tornará o produto para o cliente (ver figura 1).

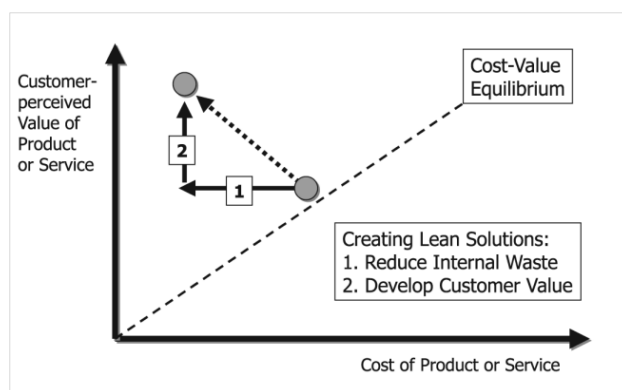


Figura 1 - Relação entre custo, valor e desperdício (Fonte: Hines et al., 2004)

De acordo com Womack e Jones (2003), fornecer um produto com qualidade mas que não satisfaz os requisitos do cliente constitui desperdício, e este pode ser eliminado através de uma clara definição do que é reconhecido pelo cliente no produto que lhe é oferecido.

2.3 BENEFÍCIOS E LIMITAÇÕES

Atualmente tem-se assistido a um aumento do número de organizações que adotam a filosofia *Lean* (Pavnaskar et al., 2003), aspirando a um estado de competitividade que exige qualidade elevada, custos baixos e tempos de entrega reduzidos (Chen et al., 2010). De facto, a implementação da filosofia é frequentemente associada à capacidade de elevar os níveis de performance de uma organização (Shah e Ward, 2007; Shah e Ward 2003; Parks, 2002).

Apesar do processo criado com a metodologia usar menos espaço, tempo, investimento e esforço humano, permite: diminuir o lead time (Melton, 2005; Shah e Ward, 2003), reduzir inventários (Melton, 2005) e trabalho em curso (Pavnaskar et al., 2003), otimizar a gestão de informação (Melton, 2005), criar processos mais robustos (Melton, 2005), melhorar a qualidade dos produtos (Pavnaskar et al., 2003; Howell, 2009; Imai, 1997 apud Chen et al., 2010; Shah e Ward, 2003), reduzir tempos de ciclo (Pavnaskar et al., 2003; Howell, 2009; Shah e Ward, 2003), aumentar a produtividade (Pavnaskar et al., 2003; Imai, 1997 apud Chen et al., 2010; Shah e Ward, 2003) e níveis de serviço ao cliente (Towill, 2007), bem como desenvolver mão-de-obra mais qualificada e flexível (Howell, 2009).

Todos os potenciais benefícios acima indicados, aliados à necessidade de proximidade com o cliente devido às atuais condições de mercado, constituem a força de apoio à implementação da filosofia *Lean* (Melton, 2005), que aplicada corretamente cria uma organização que se mantém competitiva e que procura superar-se continuamente (Parks, 2002).

No entanto, os níveis de sucesso na implementação da filosofia são reduzidos (Bhasin e Burcher, 2006) e algumas críticas têm vindo a ser apontadas à mesma. De acordo com Hines et al. (2004), as principais falhas apontadas à metodologia são a falta de capacidade para lidar com a variabilidade, de consideração pelos aspetos humanos e de visão estratégica.

Para além destas objeções, a cultura de produção existente numa organização e a resistência à mudança formam uma força de inércia na aceitação da implementação da filosofia (Melton, 2005).

Um outro fator que influencia a implementação de práticas *Lean*, é a diferença entre sistemas de produção contínua e sistemas de produção discreta (Howell, 2010). De acordo com este autor, num sistema de produção discreta, onde os produtos são fabricados

através da montagem de componentes, existem elevados materiais em curso de fabrico e filas de espera, bem como várias linhas de produção. Os sistemas de produção contínua são caracterizados pelo elevado capital necessário, pela pouca flexibilidade e pelo baixo número de células de produção.

De facto, num processo de montagem, a simples observação do processo permite obter informações do mesmo pois todos os componentes estão à vista. Num processo de transformação, muitas operações ocorrem em locais onde não é possível observar os materiais, sendo necessário um ênfase especial na recolha de dados (King, 2009 *apud* Howell, 2011) e na escolha de ferramentas *Lean*, pois nem todas podem ser aplicadas neste contexto (Howell, 2011). Apesar das diferenças evidentes entre estes sistemas de produção, Womack et al. (1991) afirmam que os princípios podem ser aplicados a qualquer indústria.

Ainda que a aplicação de práticas *Lean* esteja condicionada por várias variáveis, os benefícios adjacentes à sua implementação superam as forças que lhe resistem (Melton, 2005).

2.4 LEAN THINKING VERSUS LEAN PRODUCTION

O principal desafio da filosofia *Lean* é fornecer valor ao cliente, na sua ótica. Para que tal seja possível, Hines et al. (2004) sugerem a divisão do pensamento em dois níveis: estratégico e operacional (ver figura 2). Segundo estes autores, esta distinção torna-se fundamental para a visão do *Lean Manufacturing* como um sistema holístico, bem como para a utilização das ferramentas e técnicas corretas para a prossecução dos objetivos da metodologia.

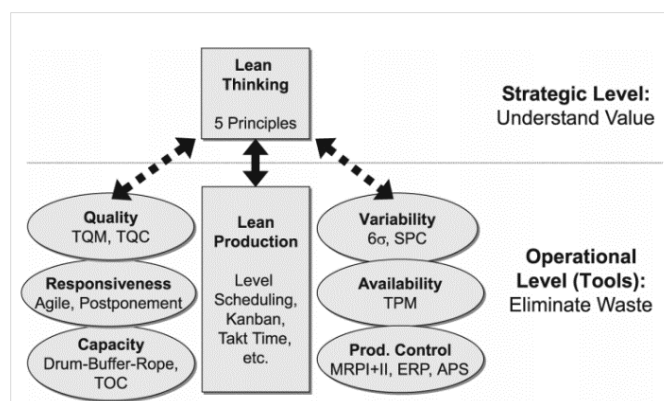


Figura 2 - Níveis do sistema Lean (Fonte: Hines et al., 2004)

Esta distinção surge pois os autores acreditam que apesar da estratégia de focalização no cliente se aplicar a todos os níveis da organização, o mesmo não sucede com as ferramentas que permitem alcançar tal objetivo.

2.4.1 ESTRATÉGIA

No nível estratégico encontra-se o *Lean Thinking*, que deve ser usado para a compreensão da cadeia de valor, sendo definido por Womack e Jones (2003) no livro “*Banish Waste and Create Wealth in your corporation*” como o conjunto de passos que permitem especificar valor, alinhar ações de valor acrescentado na melhor sequência possível, sem interrupções e progressivamente de forma mais eficiente.

O *Lean Thinking* divide-se em cinco passos (Womack and Jones, 1996; Womack, 2002):

1. Especificação de valor – Da perspectiva do cliente, de acordo com as características oferecidas num dado momento e a um dado preço. Todo o pensamento industrial começa através da diferenciação entre valor e desperdício.
2. Identificação da cadeia de valor e eliminação de etapas desnecessárias – Para cada produto ou família de produto. A cadeia de valor são todas as ações necessárias para que um produto atravessasse as três atividades críticas de uma organização, sendo estas: conceptualização, planeamento e transformação física.
3. Criação de fluxo nas etapas restantes – através de um trabalho contínuo em cada uma das etapas no sentido de alcançar um estado em que o sistema trabalha numa base *just-in-time* e não existe desperdício nem na própria, nem entre etapas.
4. *Pull* – Produzir de acordo com a procura do cliente, isto é, só o necessário e quando necessário. Este ponto permite também a eliminação de desperdício.
5. Perseguir a perfeição – Percorrer de forma iterativa os quatro primeiros passos, de forma a revelar e eliminar novos desperdícios.

2.4.2 FERRAMENTAS

No nível operacional encontram-se as ferramentas, aplicáveis no terreno, que permitem fornecer valor ao cliente através da eliminação de desperdício. Neste nível não se encontram apenas as ferramentas tradicionais descritas na filosofia *Lean Production*, mas também ferramentas que se acreditam irem de encontro ao pensamento e que podem ser uma mais-valia no momento de implementação.

Segundo Melton (2005) existem várias ferramentas que se ajustam às distintas etapas de implementação do *Lean Production*, visando criar valor para o cliente através da redução de atividades que este não valoriza. Pavnaskar et al. (2003) realçam a importância da utilização da ferramenta correta para a resolução de um dado problema, e indica três tipos de aplicações incorretas que ocorrem frequentemente: uso da ferramenta errada para um dado problema, uso de uma única ferramenta para resolução de todos os problemas e uso de todas as ferramentas num único problema. Estas utilizações indevidas podem levar à perda de recursos, como tempo e dinheiro, bem como à descredibilização da própria filosofia.

De seguida são apresentadas e descritas um conjunto de ferramentas que aplicadas nas fases apropriadas e na sequência correta, levam à obtenção de sistemas perfeitamente integrados na filosofia *Lean*.

2.4.2.1 VSM

O *value stream mapping* (VSM) é uma ferramenta visual que visa mapear a situação atual de uma organização e identificar possíveis oportunidades de redução de desperdício (Pavnaskar et al., 2003).

Esta ferramenta fornece uma visão global das atividades que constituem um dado processo (Stevenson, 2012), sendo usada para analisar o fluxo de materiais e informação necessários para levar o produto ao cliente (Howell, 2013). É a primeira e mais importante ferramenta quando se pretende identificar o que necessita de ser alterado (Chiarini, 2013).

O VSM não deve ser aplicado para a globalidade de um processo, mas sim focar-se no fluxo de uma família de produto, de um componente do produto final ou num serviço específico (Chiarini, 2013). A cadeia de valor selecionada deve ser a que maior peso apresenta na organização e o seu mapeamento deve seguir a seguinte metodologia (Hoff, 2009 *apud* Howell, 2013):

1. Criar o gráfico de fluxo do processo;
2. Percorrer no terreno a cadeia de valor definida;
3. Recolher dados pertinentes - sempre que necessário envolver os trabalhadores, que são uma fonte de informação válida;
4. Construir o VSM;
5. Resumir a informação.

As primeiras três fases da metodologia apresentada pretendem fornecer informações relevantes acerca do processo em estudo, e os dados recolhidos devem incluir (Stevenson, 2012):

- Tempos de ciclo, de mudança de ferramentas e LT;
- Distâncias percorridas de peças e trabalhadores;
- Defeitos dos produtos;
- Métodos de trabalho ineficientes (como movimentações excessivas);
- Filas de espera.

De acordo com Chiarini (2013), após a informação necessária ser recolhida, a construção do VSM pode ser realizada em folha ou num *software* adequado, e deve obedecer aos seguintes passos:

1. Desenhar os ícones do fornecedor e do cliente do processo;
2. Inserir as quantidades desejadas pelo cliente, em meses ou dias;
3. Calcular a produção diária e comparar com o valor do *takt time*;
4. Desenhar o ícone de transporte que sai do fornecedor, indicando a frequência;
5. Desenhar o ícone de transporte que chega ao cliente, indicando a frequência;
6. Adicionar as tabelas de cada processo, de forma sequenciada e da esquerda para a direita;
7. Adicionar as caixas de informação sob cada processo;
8. Adicionar métodos e frequência das comunicações;
9. Preencher as caixas de informação de cada processo;
10. Adicionar o símbolo e número de operadores;
11. Adicionar símbolos de inventário e o seu valor (quantidade ou dias);
12. Adicionar tempo disponível de trabalho;
13. Adicionar outras informações relevantes;
14. Adicionar tempos de ciclo e tempos de processamento;
15. Calcular tempos de ciclo e de processamento totais.

A ferramenta apoia-se num conjunto de ícones que permitem construir e descrever o processo em estudo, como referido nos pontos anteriores, encontrando-se estes no anexo A.

De acordo com Stevenson (2012), assim que o mapeamento do fluxo de valor seja concluído, e de forma a identificar oportunidades de melhoria, algumas perguntas chave devem ser colocadas, tais como:

- Quais são os gargalos do processo?
- Quais os processos sujeitos a maior variação?
- Onde é que existe desperdício?

2.4.2.2 KPI'S

Key Performance Indicators (KPI's) são indicadores construídos com objetivo de monitorizar e encorajar o progresso face a objetivos chave definidos pela organização.

De acordo com Chiarini (2013), estes devem ser partilhados, fáceis de medir e mensuráveis em tempo real. A introdução destas métricas leva a um melhor controlo sobre resultados, melhoria nos processos e a uma nova filosofia de trabalho. De seguida são apresentados alguns exemplos de indicadores que podem ser utilizados no seguimento de projetos relacionados com melhorias de processos.

- **Produtividade:** De acordo com Stevenson (2012), a produtividade mede o *output* relativamente ao *input* utilizado para o produzir. A produtividade de um processo pode ser calculada da seguinte forma (Chiarini, 2013):

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{unidades processadas} \times \text{tempo standard de processamento}}{\text{número de operadores} \times \text{tempo de trabalho}}$$

- **Eficiência do processo:** Sendo um dos objetivos da filosofia *Lean* a redução de desperdício, este indicador procura medir a percentagem de atividades da cadeia de valor pelas quais o cliente está disposto a pagar, ou seja, atividades de valor acrescentado. Segundo Chiarini (2013) este indicador pode ser calculado através da fórmula:

$$\text{Eficiência do processo} = \frac{\text{Quantidade de atividades de valor acrescentado}}{\text{Total de atividades do processo}} \times 100$$

- **Lead Time:** Este indicador fornece o tempo total que um dado componente demora a atravessar a cadeia de valor (Chiarini, 2013). Valores reduzidos de LT permitem níveis elevados de flexibilidade e capacidade de resposta da organização, bem como processos mais estáveis (Wilson, 2010).

- WIP: A medição do trabalho em curso (WIP) é relativamente simples e pode ser realizada visualmente (Chiarini, 2013). De acordo com a Lei de Little, consoante a redução de WIP menor será o LT, pois ambos são diretamente proporcionais (Wilson, 2010).

2.4.2.3 FLUXO CONTÍNUO

De acordo com Sayer e Williams (2007), o estado ideal de um sistema *Lean* é a produção em fluxo contínuo e perfeitamente alinhada com a procura do cliente. Os produtos param exclusivamente para serem processados em atividades que acrescentam valor, não existindo filas de espera, inventário e transportes ou movimentos desnecessários.

Desta forma previne-se o acumular de trabalho em curso durante o processo, não sendo necessário recorrer a *buffers* de *stock* (Wilson, 2010). Este autor afirma que é uma ferramenta fulcral na redução de LT, e que a sua aplicação passa por desenhar o processo para que exista o mínimo inventário possível em cada posto de trabalho. Para que tal seja possível os postos devem estar sincronizados entre si.

Os principais obstáculos encontrados ao fluxo contínuo de componentes são os seguintes:

- Inventário;
- Produção em lotes;
- Distância;
- Processos que originam peças defeituosas;
- Variação;
- Operações com diferentes tempos de ciclo;
- Mudança de ferramentas;
- Operações que não acrescentam valor.

A solução passa então pela procura contínua da organização da cadeia de valor, que pode ser obtida através das seguintes etapas (Sayer e Williams, 2007):

1. Identificar famílias de produto – pois contêm as mesmas etapas de processamento;
2. Criar células de trabalho – reduzem inventário, melhoram a qualidade e comunicação e ocupam menos espaço;
3. Balancear operações;
4. Identificar recursos gargalos;
5. Praticar *kaizen*.

Wilson (2010) sugere ainda a remoção de operações que não acrescentam valor, a redução de distâncias entre postos de trabalho e a alteração de *layout* como soluções válidas para a criação de fluxo contínuo.

Pode-se ainda trabalhar no sentido de prevenir eventuais bloqueios de fluxo através da garantia da qualidade, por meio de inspeção visual às peças processadas ou uso de *poka-yoke* (algo que é colocado num produto ou processo e previne o acontecimento de erros), da manutenção preventiva de equipamentos e da redução de tempos de mudança de ferramenta (Sayer e Williams, 2007).

2.4.2.4 TAKT-TIME

Pode ser definido como o ritmo da procura e é usado para determinar qual a cadência de produção adequada (Searcy, 2012). Produzir de acordo com este valor significa que o sistema trabalha exatamente à velocidade adequada de forma a entregar ao cliente a quantidade certa na altura pretendida (Sayer e Williams, 2007).

O *takt time* é calculado através da seguinte fórmula:

$$Takt\ Time = \frac{\text{tempo disponível de produção}}{\text{procura}}$$

A razão entre o tempo disponível de produção (tempo de trabalho – paragens planeadas) e a procura, resulta no valor ótimo para a cadência de produção. Se o tempo de ciclo for maior que o *takt time*, o sistema não terá resposta para os pedidos do cliente; um tempo de ciclo menor significa produzir em excesso e acumular inventário.

A utilização desta ferramenta combate essencialmente o desperdício de excesso de produção, e tal só será obtido se o tempo de ciclo igualar o tempo de *takt*. Desta forma, todas as etapas na cadeia de valor devem produzir ao ritmo da procura (Wilson, 2010).

Para sistemas estáveis onde a incerteza na procura é reduzida, o uso do *takt time* permite reduzir os níveis de inventário intermédio. Esta redução por sua vez permite evidenciar problemas no processo, tais como: recursos gargalos, desperdícios e falta de sincronização. No entanto, o uso de inventário adicional é necessário em sistemas com procura instável, de forma a compensar essa mesma variabilidade (Stevenson, 2012).

2.4.2.5 BALANCEAMENTO

O balanceamento de linhas de produção, isto é, a distribuição da carga de trabalho pelos postos, proporciona um fluxo rápido de peças pelo sistema (Stevenson, 2012). De acordo com Wilson (2010), o estudo de balanceamento é efetuado para que as operações atuais se ajustem ao tempo de ciclo desejável, determinando o ritmo de produção e impedindo desperdícios inerentes ao processo, tais como tempos de espera, inventário e excesso de produção.

Chiarini (2013), Wilson (2010) e Stevenson (2012) descrevem um conjunto de etapas a seguir e ferramentas de apoio ao balanceamento de operações:

1. Analisar o processo atual, através de:
 - a. Estudo de tempos, que segue as seguintes etapas:
 - i. Definir quais as tarefa a serem analisadas;
 - ii. Se necessário, dividir as tarefas em elementos básicos de trabalho;
 - iii. Determinar o número de observações a efetuar;
 - iv. Medir tempos;
 - v. Calcular o tempo médio das tarefas analisadas.
 - b. Mapeamento do processo usando diagrama de precedências – retrata visualmente as tarefas a serem executadas e na sequência correta.
2. Calcular tempos de ciclo:
 - a. Tempo de ciclo da operação – Tempo que uma unidade demora a ser processada numa etapa do processo produtivo;
 - b. Tempo de ciclo total – intervalo de tempo entre a produção de duas unidades consecutivas.
3. Comparar a afetação de tarefas em cada posto de trabalho, tendo em consideração o tempo de ciclo (valor real) e o takt time (objetivo a atingir);
4. Determinar o número mínimo de postos de trabalho:

$$Quantidade\ de\ trabalhadores = \frac{Tempo\ de\ ciclo\ total}{Takt\ Time}$$

5. Redesenhar a linha afetando as tarefas pelos operadores necessários para que o tempo de ciclo iguale, se possível, o *takt time*.

2.4.2.6 ANÁLISE DE GARGALOS

Gargalo pode ser definido como a operação que irá condicionar o desempenho global do processo, pois a capacidade do mesmo é idêntica à do recurso gargalo (Stevenson, 2012). Geralmente o recurso gargalo é aquele que apresenta um maior tempo de ciclo.

Este pode ser facilmente identificado através do estudo de tempos ou da visualização direta da quantidade de inventário a montante do processo (Wilson, 2010). Esta teoria alinha-se com a filosofia *Lean* na medida em que a restrição causada impede o fluxo num dado sistema (Melton, 2005).

Após a identificação do gargalo, deve-se melhorar o desempenho da operação para que o sistema esteja o mais próximo possível do seu potencial de produção. Possíveis estratégias para a otimização do gargalo passam por alterações de *layout*, balanceamento de linhas, compra de novos equipamentos, *outsourcing* e alteração da estratégia de planeamento de produção (Stevenson, 2012).

2.4.2.7 SIMULAÇÃO

De acordo com Adams et al. (1999), a simulação pode ser utilizada para explorar e documentar potenciais oportunidades de melhoria, e é especialmente útil na apresentação de resultados à direção.

Segundo Law (2003), a realização de um estudo de simulação deve seguir sete passos:

1. Formulação do problema – definição de objetivos e perguntas a serem respondidas pela simulação;
2. Recolha de dados e construção do modelo conceptual – recolha de tempos para ajuste de distribuições e documentação de pressupostos assumidos no modelo;
3. Validação do modelo conceptual – através da apresentação do modelo desenhado a subject matter experts (SME's);
4. Programação do modelo;
5. Validação do modelo programado – comparação dos resultados obtidos com o sistema real;
6. Desenho e análise de experiências – testar diferentes cenários;
7. Documentação dos resultados obtidos.

2.4.2.8 KAIZEN

Kaizen é a melhoria contínua de um sistema pois existem sempre oportunidades de progresso e, como tal, o esforço nesse sentido deve ser permanente (Stevenson, 2012).

De acordo com Chiarini (2013), *Kaizen* é uma ferramenta que pode ser aplicada em qualquer processo e leva a melhorias de desempenho e financeiras, através da análise crítica de processos e remoção de obstáculos que impedem o alcance de todo o potencial do sistema. Estes são por vezes pequenos passos do processo, o que torna difícil medir os benefícios da sua melhoria. No entanto, o acumulado do aperfeiçoamento contínuo do processo tem um efeito significativo (Wilson, 2010).

2.5 IMPLEMENTAÇÃO DA FILOSOFIA

De forma a aplicar a filosofia *Lean Manufacturing* é necessária uma abordagem estruturada e centrada nos princípios chave do pensamento: valor, desperdício e fluxo. Melton (2005) sugere um conjunto de cinco passos para a aplicação da metodologia:

1. Recolha de dados: Observar o processo atual. Definir valor e procurar desperdícios no processo. Envolver as pessoas que detêm conhecimento e que trabalham no processo diariamente, de forma a documentar o estado atual do processo;
2. Análise de dados: Diagnosticar problemas no processo atual e identificar as causas raiz;
3. Desenho do processo: é baseado na análise dos dados e envolve geralmente a eliminação do desperdício previamente identificado;
4. Implementação: colocar em prática as modificações estudadas. Monitorizar o novo processo e a evolução de indicadores relativos ao mesmo. Se necessário, ajustar o desenho do novo processo;
5. Medir benefícios: Monitorizar continuamente os procedimentos implementados e avaliar os benefícios obtidos, procurando melhorar progressivamente o processo.

Além destes passos, de acordo com Wilson (2010), a estratégia de transformação para uma cadeia de valor *Lean* desdobra-se em quatro etapas:

1. Sincronização externa: Fornecer o produto ao cliente de acordo com a sua taxa de procura, evitando desta forma o excesso de produção e o acumular de inventário;

2. Sincronização da produção interna: Dividir as várias tarefas de produção de valor acrescentado em etapas, em que cada demora o mesmo tempo. O estado ideal é que cada etapa seja igual ao tempo de ciclo, e por sua vez que este seja igual à taxa de procura do cliente;
3. Criação de fluxo: Evitar a paragem de unidades de produção, exceto para a adição de valor;
4. Estabelecimento de um sistema *pull*: A produção é despoletada com base em sinais provenientes do processo a jusante, produzindo-se apenas o necessário; desta forma reduz-se o inventário em curso de fabrico e o excesso de produção.

A transformação para um sistema *Lean* bem-sucedido está ainda dependente de fatores considerados indispensáveis, e de obstáculos que as organizações terão de enfrentar para obter os máximos benefícios que o pensamento é capaz de oferecer.

Melton (2005) sugere que o conhecimento presente nos colaboradores assume um papel preponderante na implementação da metodologia, enquanto Bhasin e Burcher (2006) apontam a aplicação simultânea de ferramentas, a visão do projeto a longo prazo, a implementação da procura pela melhoria contínua e a mudança cultural como fatores fundamentais para o sucesso na implementação do *Lean Manufacturing*. Uma liderança sólida, que apoia a organização na adaptação à mudança, que transmite confiança e níveis elevados de compromisso para com os seus objetivos, associada a cultura de trabalho em equipa e sistemas de comunicação eficazes que promovem os resultados alcançados, são elementos fundamentais na obtenção de um sistema *Lean* (McGivern e Stiber).

De acordo com McGivern e Stiber, a complacência, a oposição da gestão intermédia, a falta de compromisso e fraca definição de indicadores, bem como o pensamento focado no curto prazo são as principais barreiras à implementação da filosofia. Kilpatrick (2003) aponta ainda a não conversão dos ganhos obtidos em termos monetários, a aplicação de ferramentas na ordem errada e a escolha de um primeiro projeto complexo ou de baixo impacto na organização como barreiras à implementação e transformação para um sistema *Lean*.

3. APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS LEAN NA VISTA ALEGRE

3.1 APRESENTAÇÃO DA VISTA ALEGRE

3.1.1 EVOLUÇÃO

A Vista Alegre (VA) é uma organização sediada no concelho de Ílhavo que opera no setor de cerâmica utilitária e decorativa, sendo líder no mercado Nacional e uma marca de referência ao nível mundial. É detida a 100% pela Vista Alegre Atlantis, SA, (VAA) que por sua vez é detida maioritariamente pela Cerútil – Cerâmicas Utilitárias, SA, sub-holding do grupo Visabeira.

Fundada em 1824 por José Ferreira Pinto Basto, a fábrica iniciou a sua atividade através da produção de vidro e em 1835 começa a produzir porcelana, sendo a primeira indústria nacional a explorar este setor. Depois de um início de atividade adverso, devido à falta de *know-how* e matéria-prima, através de parcerias com organizações internacionais experientes no setor e com artistas conceituados, consegue aperfeiçoar as técnicas de produção e decoração das peças. No ano de 1880 é terminada a produção de cristal e vidro passando a organização a concentrar-se exclusivamente na produção de peças cerâmicas.

Na Primeira Grande Guerra assiste-se a um período de crise e estagnação, onde os esforços realizados no sentido de manter a escola de pintura proporcionaram um crescimento nos anos posteriores. Nos anos 70 assiste-se novamente a uma crise Nacional e Internacional, onde a aposta na automação permitiu à organização manter-se competitiva.

Em 1991 dá-se a fusão com o Grupo Cerexport, passando o Grupo Vista Alegre a ser constituído também pela unidade de faiança “Faianças da Capôa ” e pela “Cerexport”, unidade fabril de louça de forno. Em 2001, o Grupo Vista Alegre funde-se com o grupo Atlantis, dando origem ao sexto maior grupo mundial de *tableware*.

No ano de 2009 é concretizada em bolsa a OPA à VAA pela Cerútil, passando o grupo a apostar no setor de restauração e hotelaria de forma a aumentar a sua quota de mercado, mas principalmente aposta na internacionalização da marca. Atualmente está presente em diversos mercados, tais como brasileiro, inglês, chinês e angolano, contando também com a parceria de artistas internacionais de prestígio como Christian Lacroix.

A organização foi distinguida em 2013, e pelo terceiro ano consecutivo, num estudo de notoriedade espontânea, sendo assim reconhecida a dimensão e o nível de excelência alcançados pela mesma.

Em 2014, ano em que se assinalam os seus 190 anos de existência, serão realizados investimentos na ordem dos vinte milhões de euros, de forma a requalificar o museu, o palácio e toda a área envolvente à organização. Neste mesmo ano, inicia-se a atividade da Ria Stone, empresa do grupo Vista Alegre que produzirá peças para o Ikea.

3.1.2 INFORMAÇÃO RELEVANTE

3.1.2.1 ESTRUTURA

Na figura 3 é apresentado o organigrama da organização, com o objetivo de dar a conhecer ao leitor a estrutura atual da organização e os relacionamentos existentes entre os diversos setores.

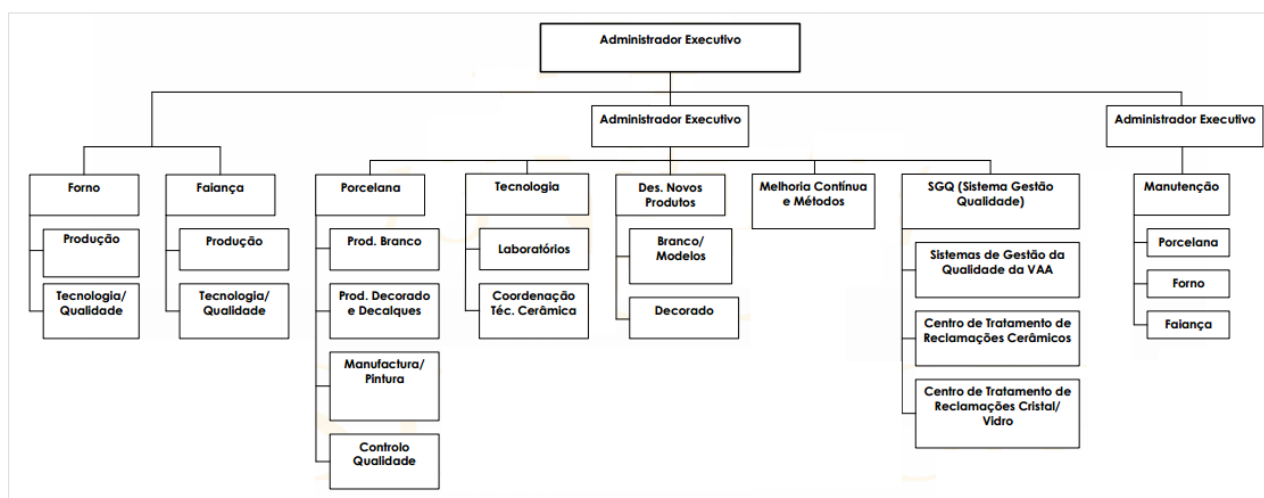


Figura 3 - Organigrama da Vista Alegre (Fonte: Manual da Qualidade da VAA)

Através da análise do organigrama acima apresentado é possível observar que existem quatro níveis hierárquicos, podendo concluir-se que existe proximidade entre os níveis estratégicos e operacionais da organização, reduzindo a verticalidade da estrutura organizacional e todos os processos burocráticos associados.

3.1.2.2 RECURSOS HUMANOS

Atualmente a VAA é composta por cerca de 1300 trabalhadores, dos quais 632 integram a unidade fabril da VA. Cerca de 66% dos colaboradores são do sexo feminino (ver tabela 1), sendo que a média de idades ronda os 46 anos (ver tabela 2).

Tabela 1 - % de operadores da VA por gênero

Gênero	Quantidade	%
feminino	414	66%
masculino	218	34%
Total	632	100,00%

Tabela 2 - Média de idades da VA por grau de escolaridade

Escolaridade	Nr. Operadores	%	Idade média
1º Ciclo	154	24,4%	53
2º Ciclo	193	30,5%	45
3º Ciclo	148	23,4%	44
Ensino Superior	45	7,1%	43
Secundário	90	14,2%	43
Sem ensino	2	0,3%	56
Total	632	100,00%	46

3.1.2.3 PRODUTOS

O foco de produção da VA consiste essencialmente na produção de peças de porcelana, mas também em louça de forno.

Dentro das peças de porcelana, a organização aposta em peças para uso doméstico de gama média e alta e em peças decorativas de alto valor (ver figura 4).



Figura 4 - Peça decorativa VA (Fonte: <http://www.myvistaalegre.com>)

Recentemente, o mercado de restauração e hotelaria surge como atividade estratégica da organização, pretendendo ganhar notoriedade neste mesmo mercado.

3.1.2.4 MERCADOS

No ano de 2012, segundo dados do relatório financeiro do mesmo ano, o volume de negócios da VA alcançou os 27,5 milhões de euros, sendo que deste valor o mercado interno representou 56%. Dos restantes 44%, a contribuição é proveniente maioritariamente de países europeus (ver figura 5).

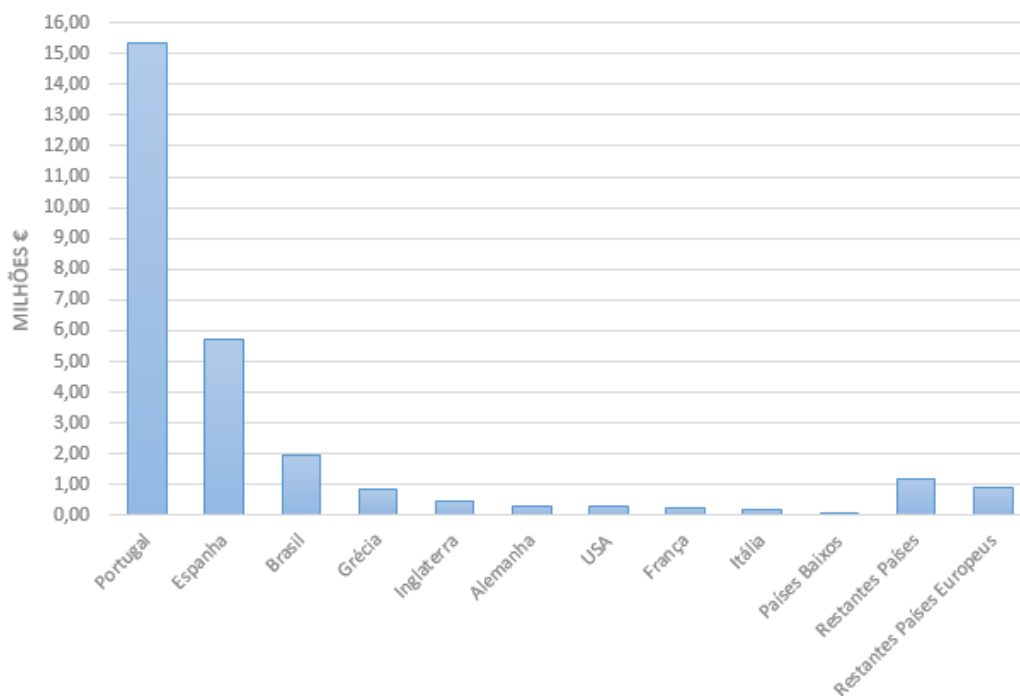


Figura 5 – Volume de negócios da VA por país

Se compararmos os valores de 2012 com os valores apresentados no relatório financeiro de 2009, aquando da aquisição da VAA, SA pela Visabeira, obtemos em 2012 um crescimento do volume de negócios na ordem dos 38% e um decréscimo de 9% na contribuição do mercado interno, realçando a estratégia de internacionalização adotada pela organização (ver figura 6).

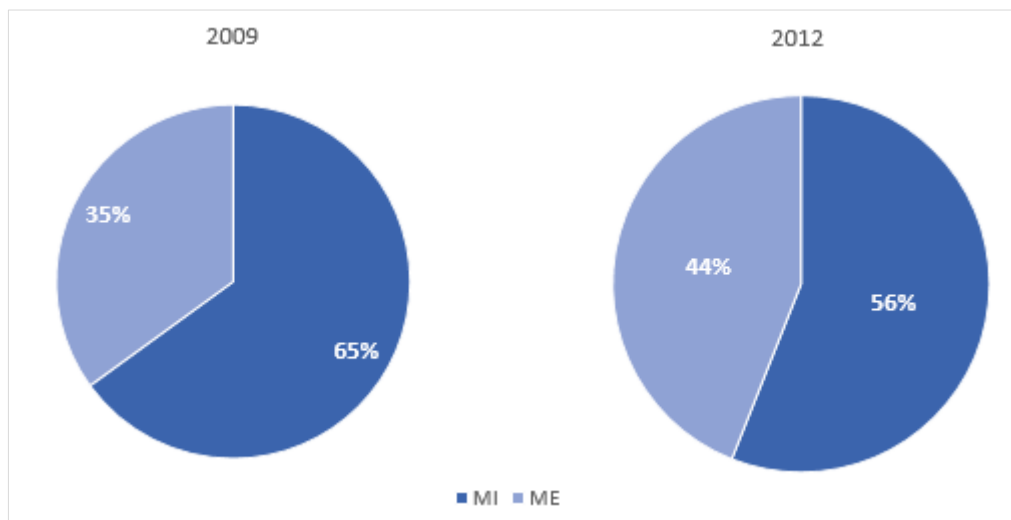


Figura 6 - Comparação entre volume de negócios no mercado interno e externo

No ano de 2013, a organização apostou na entrada em mercados não tradicionais, tais como China e Angola. Obteve também crescimento de vendas no continente Americano e é expectável que aumente o seu volume de negócios, apesar da crise que se faz notar por toda a Europa e que afeta a venda nesta região.

3.2 PROCESSO PRODUTIVO - PEÇAS EM BRANCO

A produção de peças de porcelana em branco, sem decoração, está sujeita a várias etapas de forma a adquirir as características necessárias para venda. Essas etapas são apresentadas na figura 7.

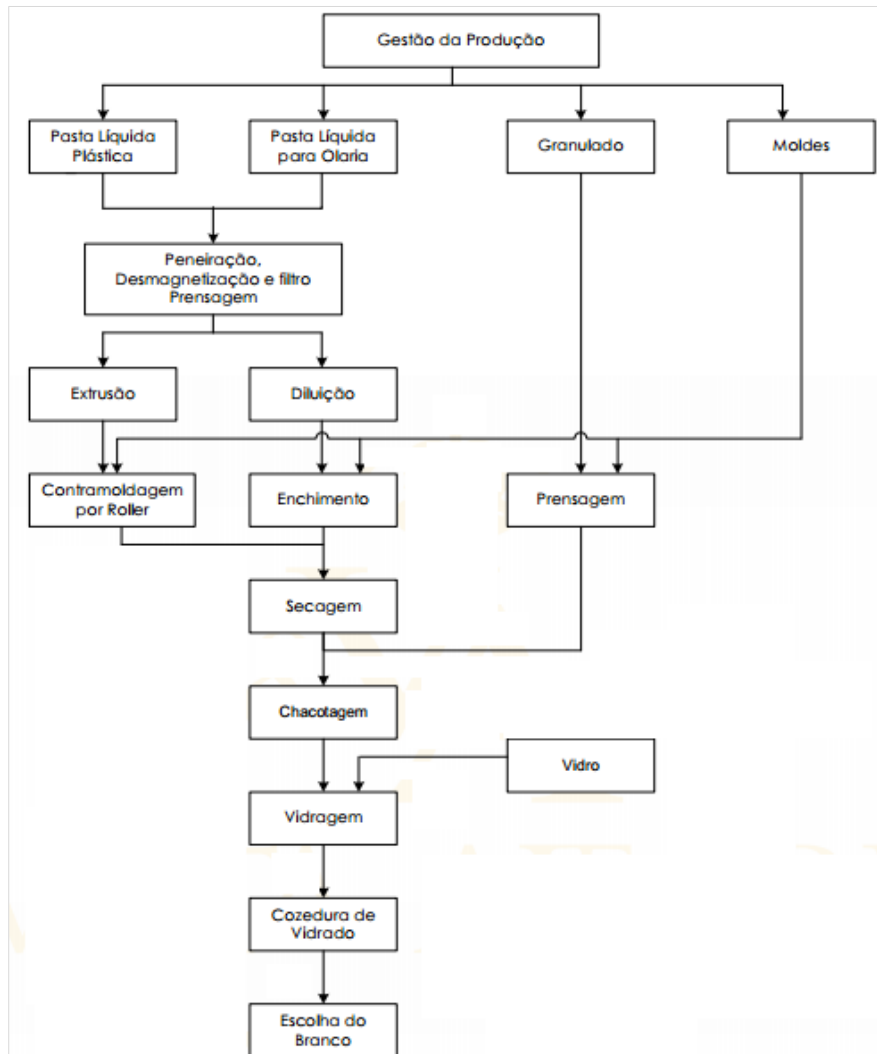


Figura 7 - Processo produtivo de peças em branco (Fonte: Manual da Qualidade da VAA)

A matéria-prima utilizada para a produção de peças cerâmicas é uma mistura de caulino, quartzo e feldspato que origina uma pasta. Esta recebe três tipos diferentes de tratamento, consoante o método de conformação:

- **Contramoldagem** - Na contramoldagem (onde são produzidas peças com eixo de revolução, como chávenas) a água é extraída da pasta, o ar removido do composto obtido e depois cortado em partes iguais denominadas “charutos.” Estes são colocados em formas de gesso e de seguida sofrem uma pressão proveniente de uma cabeça metálica (ver figura 8), que leva a pasta a tomar a forma do molde.



Figura 8 - Máquina roller para conformação por contramoldagem

- Enchimento manual – Neste processamento a pasta é diluída obtendo-se uma suspensão de partículas sólidas, denominada lambugem. Este tipo de conformação, dado na secção de olaria, é utilizado para peças ocas (como bules) e com formas irregulares. A lambugem é vertida em moldes de gesso pelos oleiros, sendo que os moldes vão absorvendo a água, formando-se assim a peça desejada (ver figura 9).



Figura 9 - Processo de enchimento manual

- Enchimento a alta pressão – Este tipo de processamento é utilizado para peças planas com formas irregulares. A lambugem é injetada em moldes de resina, a alta pressão, forçando desta forma a saída da água. A peça conformada toma a forma do molde utilizado.
- Prensagem isostática – Através da evaporação da água da lambugem obtém-se um granulado com aspeto semelhante a areia, que é utilizado para produção de

peças planas, tais como pratos e pires. O granulado é depositado no molde e através do processo de prensagem forma-se a peça.

Depois da conformação, as peças seguem para a secagem. Este processo permite que as peças sejam manuseadas na fase de acabamento, impossibilitando a deformação da peça.

No acabamento, que pode ser efetuado manualmente (caso do enchimento manual e alta pressão) ou automaticamente (no caso das peças planas), são eliminados excessos de pasta e imperfeições existentes através da rebarba e esponjamento das peças.

De seguida, as peças são colocadas em vagonas e seguem para a primeira cozedura, também designada por *chacotagem* (ver figura 10). Este processo confere ao produto resistência mecânica para que as peças possam ser manuseadas nas fases posteriores.



Figura 10 - Chacotagem de peças

Na fase de vidragem, a louça é imersa numa suspensão de vidrado (de forma manual ou automática), com o objetivo de proporcionar às peças brancura e torna-las agradáveis ao toque. As peças são novamente enfiadas e seguem para a segunda cozedura onde são cozidas a alta temperatura (cerca de 1400°), de forma a garantir resistência mecânica, brancura e translucidez necessária.

A fase final é a escolha, sendo aqui a louça escolhida de acordo com os critérios de qualidade definidos, para que o cliente receba as peças com todo o seu potencial de excelência.

3.3 PROCESSO PRODUTIVO - ENCHIMENTO A ALTA PRESSÃO

Com o desenvolvimento deste projeto pretende-se explorar o fluxo de peças conformadas através da técnica de enchimento a alta pressão, otimizando as diversas áreas que intervêm para a formação deste tipo de produto. Assim, de seguida, descreve-se de forma mais pormenorizada todo o sistema em estudo.

As peças conformadas por enchimento a alta pressão são formadas numa secção designada MEAP (máquinas de enchimento a alta pressão), sendo que esta se divide em duas células. Uma das células é composta por seis máquinas, enquanto a outra é composta por quatro.

Cada máquina apresenta um determinado molde, que pode ser substituído a qualquer momento, que dará origem à peça pretendida (ver figura 11). O molde pode apresentar uma ou várias cavidades, que estabelece o número de peças idênticas que se vão formar.



Figura 11 - Máquina de enchimento a alta pressão

Após a peça ser retirada do molde com a ajuda de uma ventosa retira-se o gito, excedente de pasta derivada do local onde a pasta é injetada, e a peça é colocada no secador. Depois de concluído o processo de secagem, as peças chegam à zona de acabamento da MEAP.

Nesta secção encontram-se três postos de trabalho, que retiram o excesso de pasta existente nas peças conformadas através da rebarbagem, e eliminam eventuais imperfeições através do esponjamento. A disposição dos postos de trabalho associada ao

método de trabalho praticado origina entropia no sistema, refletindo-se nos elevados níveis de trabalho em curso.

As peças acabadas são colocadas manualmente num transportador, local onde ficam a aguardar pela enfora. A enfora é o processo no qual as peças são colocadas numa vagona, para depois seguirem para o forno. Na chacotagem, confere-se às peças uma maior resistência mecânica, de forma a serem manobradas nas fases seguintes, sendo que o tempo de ciclo deste forno, F1, é de vinte e duas horas. Este tempo elevado aumenta consideravelmente o LT do processo, que é ainda maior devido às restrições de capacidade do forno, originando um tempo de espera considerável para as peças serem processadas.

Após esta cozedura, as peças são desenfnadas e colocadas num parque até arrefecerem, para que depois possam passar à próxima etapa, a vidração. Aqui, as peças são carimbadas com a marca da organização, espanadas de forma a remover impurezas contraídas ao longo do processo e vidradas. Após a vidração, os fretes (parte inferior) das peças são desvidrados para que as peças não colem à vagona no momento da segunda cozedura.

As peças provenientes da MEAP são processadas em duas linhas de vidração, designadas por 142 e 143. A linha 142 apresenta uma máquina que espana as peças automaticamente, apropriada para peças planas como pratos, enquanto a linha 143 apresenta espanação manual, para peças mais fundas.

Assiste-se nesta secção a uma falta de fluxo, originada sobretudo pelo tempo distinto de processamento de peças com tipologias diferentes. É possível observar que as operações não estão sincronizadas, variando o sistema entre excesso de *stock* intermédio e falta de capacidade em curto espaço de tempo.

Depois de processadas nestas linhas, as peças são colocadas de forma criteriosa nas vagonas, de forma a aproveitar da melhor forma o espaço disponível nas mesmas (ver figura 12). Desta forma é possível otimizar a capacidade do forno, potenciar as reações químicas que ocorrem e criar peças de qualidade.



Figura 12 - Vagona com peças vidradas

A colocação de peças de forma tão detalhada nas vagonas obriga a um planeamento constante, bem como ao acumular de inventário que fica a aguardar pela colocação nestes meios de transporte.

O tempo de ciclo deste forno, designado F2, é de cerca de 25,5 horas. Após a passagem da vagona pela totalidade do forno, as peças são desenfundadas para um parque, onde ficam a aguardar escolha de acordo com os padrões de qualidade definidos.

Após serem escolhidas, as peças são comercializadas como produto “branco”, característico de serviços hoteleiros, ou seguir para a área de Decorado, onde serão decoradas tal como o próprio nome indica.

3.4 OBJETIVOS

Este projeto tem como principal objetivo aumentar o rendimento do processo produtivo das peças conformadas na secção de enchimento a alta pressão, através do estudo do fluxo das mesmas desde a sua conformação até à segunda cozedura.

A perceção de que as secções de acabamento e vidração se encontravam a produzir em níveis inferiores à sua capacidade, levando a organização a incorrer em custos extras, motivou o desenvolvimento deste projeto. Verificam-se ainda custos de não qualidade elevados associados ao método de trabalho atual.

Desta forma, pretende-se aumentar a produtividade da secção de acabamento e vidração, criar fluxo entre operações e reduzir os níveis de *stock* intermédio, preparando a

organização para a crescente procura do mercado que se tem vindo a sentir. Assim, será possível corresponder aos níveis de serviço exigidos em cada momento a um menor custo.

3.5 METODOLOGIA

De forma a alcançar os objetivos acima enumerados, recorreu-se à aplicação da metodologia *Lean*, pois os benefícios documentados da mesma vão de encontro aos propostos para este projeto.

Inicialmente foi realizada uma revisão de literatura com o objetivo de adquirir maior conhecimento dos fundamentos *Lean Thinking* e das etapas necessárias para a implementação da mesma, bem como das ferramentas a utilizar para a prossecução dos objetivos inerentes à filosofia.

Com base na pesquisa efetuada, foi definido um conjunto de etapas para a implementação da metodologia no processo produtivo em causa:

a) Recolha de dados

Baseia-se na compreensão do processo produtivo, percorrendo e analisando os locais onde as atividades de valor acrescentado ocorrem.

Nesta fase, a ferramenta VSM proporciona uma visão global e ao mesmo tempo sucinta do processo analisado. A recolha de dados deve ser direcionada para a aplicação desta ferramenta, a qual poderá proporcionar grandes avanços na construção de uma solução futura.

b) Análise dos dados

Analisar os dados obtidos na etapa anterior, bem como os dados proporcionados pela construção do mapeamento do fluxo de valor.

A atenção deve estar focada na identificação e registo de desperdícios, atividades que não acrescentam valor, bem como na deteção de potenciais melhorias a aplicar nos processos analisados.

c) Definição de KPI's

Nesta etapa pretende-se definir os indicadores que vão permitir monitorizar os processos intervencionados e avaliar globalmente o desempenho do projeto, através da análise dos objetivos propostos face à realidade verificada.

Estes indicadores devem refletir o efeito de potenciais alterações realizadas no âmbito do projeto, ser fáceis de medir e analisar.

d) Desenho do processo

Com base nos resultados das etapas anteriores, pretende-se desenhar uma solução para o problema descrito que permita atingir os objetivos propostos.

- a. Sincronização externa – Através do cálculo do *takt time* é pretendido conhecer a taxa de procura do cliente. O objetivo é desenhar o processo com base neste valor, de forma a produzir somente o necessário, reduzindo assim desperdícios de excesso de produção e inventário que possam existir;
- b. Sincronização interna – Desenhar os processos para que o ritmo de produção seja igual em cada etapa do processo produtivo, reduzindo desta forma vários desperdícios, tais como: espera, movimento e inventário. O estado ideal é a obtenção de uma cadência de produção igual ao ritmo de procura do cliente;
- c. Criação de fluxo – Nesta etapa o objetivo é impedir pausas de fluxo ao longo do processo produtivo, exceto para as mesmas serem processadas. Pretende-se desta forma reduzir o LT e inventário em curso.

e) Implementação

Implementar as soluções encontradas na fase de desenho de processo, acompanhar as mesmas e garantir que os pressupostos delineados estão a ser cumpridos, identificando possíveis oportunidades de melhoria à solução implementada.

f) Avaliação de benefícios

Através dos indicadores previamente definidos, bem como de uma nova análise à globalidade do processo sujeito a intervenção, avaliar os resultados obtidos através da aplicação da metodologia *Lean*. Efetuar o balanço geral do projeto desenvolvido, identificando futuras áreas de intervenção.

De forma a facilitar a aplicação da metodologia *Lean*, o projeto foi dividido em duas grandes áreas: acabamento e vidração, acreditando-se que as mesmas apresentam um elevado potencial de melhoria. Como tal, as etapas acima descritas não serão aplicadas à globalidade do processo produtivo, mas sim dedicadas às áreas em estudo.

Como ajuda ao planeamento e monitorização do projeto foi desenhado um cronograma (ver figura 13), onde estão distribuídas as etapas previamente definidas.

	set-13				out-13				nov-13				dez-13				jan-14				fev-14				mar-14				abr-14				mai-14						
	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Recolha de dados																																							
Análise de dados - Vidração																																							
Definição de KPI - Vidração																																							
Desenho de processo - Vidração																																							
Implementação - Vidração																																							
Análise de dados - MEAP																																							
Definição de KPI - MEAP																																							
Desenho de processo - MEAP																																							
Implementação - MEAP																																							
Medição de benefícios																																							

Figura 13 - Cronograma do projeto

4. RESULTADOS

4.1 RECOLHA E ANÁLISE DOS DADOS

O estudo genérico do processo de produção foi realizado através da visita ao terreno e acompanhamento de todas as etapas de forma sequencial de jusante para montante. Apesar desta técnica ser simples, proporciona um contacto direto com o processo de produção, facilitando o conhecimento do mesmo e a identificação de oportunidades de melhoria. Permite ainda observar desperdícios, restrições às quais o processo se encontra sujeito, esclarecer dúvidas e recolher opiniões junto de colaboradores.

4.1.1 VIDRAÇÃO

Através da observação e filmagem do processo de vidração registaram-se os desperdícios identificados. Estes encontram-se na tabela 3.

Tabela 3 - Desperdícios na vidração

Categoria	Desperdício
Defeitos	Quebras de chacote à entrada da linha
Espera	Operador aguarda peças provenientes do transportador
Excesso de inventário	Stock de chacote em carros
	Stock em cavalates no final da linha
	À entrada da linha nas cabines de espanação
Excesso de produção	São espanadas mais peças do que as necessárias no momento
Movimento	Operador vai buscar cavaletes ao parque
	Entre as máquinas de carimbo e espanação
Sobreprocessamento	Registo de produção duplicado
Transporte	Transporte de peças em cavaletes ou em carros
	Transporte de peças do transportador para o posto de trabalho

Posteriormente procedeu-se ao estudo de tempos das operações ocorridas na área em estudo e, de seguida, à construção do gráfico de processo (ver figura 14). Este possibilita um melhor conhecimento do processo e do fluxo de materiais, permitindo detetar constrangimentos no processo.

Símbolos	○	Operação	Totais (s)	42	Ref. : Prato Rectangular TAP S/ Decor 00 PN Setor: Vidração, Linha 143
	⇒	Transporte		0	
	□	Inspeção		2	
	D	Espera		13	
	▽	Armazenamento		0	

Ordem	Símbolos					Tempo (s)	Descrição dos passos
1	○	⇒	■	D	▽	2	Inspeccionar peça
2	●	⇒	□	D	▽	4	Espanar peça
3	○	⇒	□	■	▽	4	Peça a aguardar processamento na roda
4	●	⇒	□	D	▽	8	Vidrar a peça
5	○	⇒	□	■	▽	9	Peça a aguardar processamento na roda
6	●	⇒	□	D	▽	15	Desvidrar a peça
7	●	⇒	□	D	▽	15	Enfornar a peça

Figura 14 - Gráfico do processo da vidração

Através da análise da figura anterior é possível observar que esta referência, processada na linha 143, fica parada por duas vezes enquanto aguarda processamento resultando em acumular de inventário intermédio. Verifica-se ainda a existência de duas operações (desvidração e enforna) com tempos de ciclo bastante superiores às outras operações, desbalanceando o sistema e originando acumular de inventário a jusante do processo de vidração.

A análise dos tempos recolhidos nas duas linhas permite concluir que para grande parte das referências, ao contrário da apresentada anteriormente, o recurso gargalo é o vidrador pois apresenta o maior tempo de ciclo, limitando a produção efetuada. Este facto é evidenciado pela presença de *stock* a montante da operação de vidração.

O facto da operação de vidração necessitar de um conhecimento técnico bastante elevado e de o vidrador estar condicionado a um dado local pois tem o braço mergulhado em vidro, representa uma das restrições do sistema em estudo.

É também possível observar que o tempo das operações efetuadas nestas linhas varia muito consoante a tipologia de peça, alterando todo o funcionamento da linha sempre que uma nova referência entra na mesma. Assim, é necessário que a solução encontrada consiga lidar com esta variação constante.

Apenas uma pessoa é responsável por efetuar as operações de abastecimento, carimbo e espanação, originando por vezes a espera do vidrador por peças, nomeadamente quando estas apresentam dimensões consideráveis. Quando as peças vidradas apresentam

tempos elevados de desvidração, devido à tipologia da peça ou a características técnicas, o vidrador para a operação, condicionando todo o *output* do sistema.

O mesmo acontece quando o operador de desvidração se encontra ocupado com tarefas logísticas, como a troca de cavalete quando este se encontra cheio. De facto, a presença de tarefas logísticas nos operadores das linhas de vidração é uma constante, impedindo desta forma o alcance do potencial da mesma.

Nesta secção existem ainda várias limitações no momento de enfora das peças devido às restrições do forno atual. Como tal, para existir um melhor aproveitamento em termos de rendimento do mesmo as vagonas devem ir o mais completas possível, limitando o espaço livre existente entre peças. Desta forma, é necessário ajustar o *mix* de produtos que vão fazer parte uma certa vagona. Este ajustamento é feito diariamente, consoante o tipo de peças que chegam à secção.

Com o objetivo de obter um melhor entendimento da disposição dos postos de trabalho foi recolhido o *layout* da secção de vidração (ver figura 15).

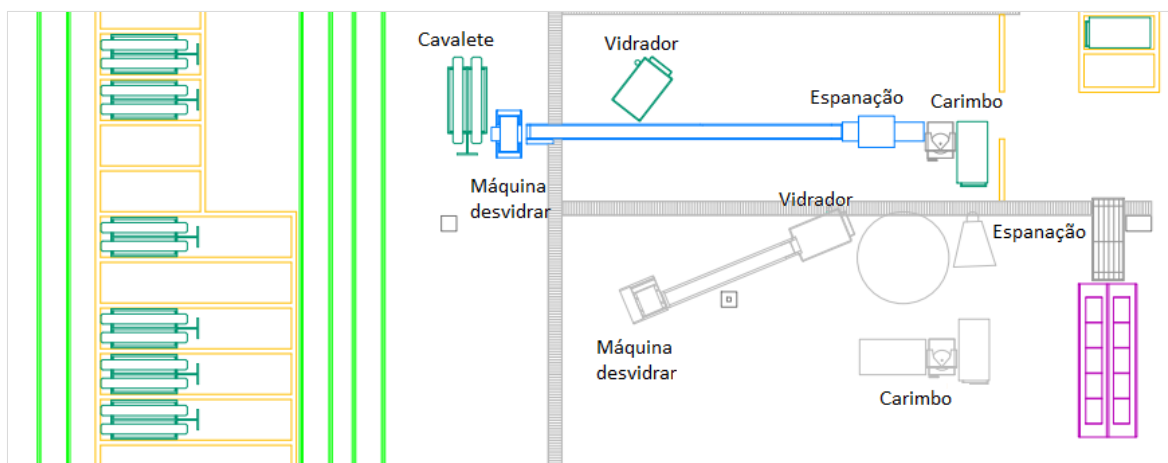


Figura 15 - Layout das linhas 142 e 143 da vidração

Ao comparar o *layout* da linha 142 (representada a azul) com a 143 (representada a cinzento), verifica-se que estas são distintas entre si. A presença de um *buffer* na linha 143, a mesa redonda, potencia o desempenho da mesma pois permite a continuidade da produção quando surgem situações como as acima mencionadas, enquanto na linha 142

a produção é terminada de imediato, devido à existência de um sensor que bloqueia o transporte de peças.

Ainda através da análise do *layout* das linhas em estudo verifica-se que ambas as linhas, mas principalmente a 143, se encontram a uma distância considerável da linha de enfora (representada a verde). Esta situação propicia aparecimento de desperdício, nomeadamente o transporte de peças, o que prejudica o rendimento da secção.

Foi ainda possível observar na linha 143 uma distância física considerável entre o equipamento de carimbo de peças e espanação, levando a um excesso de movimentos desnecessários por parte do operador.

De forma a compreender o processo de enfora no F2, que se torna essencial pois permite a evacuação da produção efetuada na secção de vidração, foi realizado um levantamento do tipo de vagonas existentes, bem como da especificidade da sua aplicação (ver figura 16).

70 Flexível					
70 fixa	A	B	90	120	Especial
1	4	5	3	2	8
10	23	6	9	7	22
12	23	26	19	11	40
13	35	32	20	16	50
14	36	39	27	24	85
15	41	42	30	25	
17	43	48	31	46	
18	45	49	33	55	
21	47	52	38	60	
28	61	57	53	74	
34	63	58	54	81	
37	66	64	56	82	
44	77	65	59	84	
51	83	68		96	
62	91	69			
67	94	72			
70	101	73			
71		76			
75		79			
78		80			
86		87			
90		88			
92		89			
93		95			
97		98			
		99			
		100			
		102			
25	17	28	13	14	5
102					

Descrição tipo vagona:	
70 fixas	8 colunas; 10 prateleiras
Tipo A	8 colunas; 11 prateleiras; menor largura
Tipo B	8 colunas; 11 prateleiras; maior largura; mais altas que tipo A
90	8 colunas; 9 prateleiras
120	8 colunas; 7 prateleiras

Figura 16 - Tipos de vagonas existentes para enfora no F2

4.1.2 ACABAMENTO

Através da observação no terreno do processo de acabamento das peças, bem como da análise de filmagens registadas, foi possível identificar desperdícios que condicionam a produtividade da secção em análise. Estes desperdícios estão identificados na tabela 4.

Tabela 4 - Desperdícios no acabamento MEAP

Categoria	Desperdício
Defeitos	Quebras de peças
Espera	Operador aguarda peças provenientes do secador
Excesso de inventário	Peças paradas no tapete, na roda e no transportador
Excesso de produção	São produzidas mais peças do que a capacidade existente para as acabar
Movimento	Operador vai buscar peças ao secador
	Operador vai buscar placas à zona de enforna
	Movimentos do operador excessivos devido ao layout posto de trabalho
Sobreprocessamento	Peças são acabadas com mais operações do que o necessário
Transporte	Operador transporta peças do posto de trabalho para o transportador
	Operador transporta peças do posto de trabalho para o cavalete

De seguida foram retirados tempos na secção, procedendo-se à construção do gráfico do processo (ver figura 17).

Símbolos	○	Operação	Totais (s)	31	Ref. : Prato Quente TAP S/ Decor 00 PN Setor: Acabamento MEAP
	⇒	Transporte		18	
	□	Inspeção		2	
	D	Espera		0	
	▽	Armazenamento		0	

Ordem	Símbolos					Tempo (s)	Descrição dos passos
1	○	⇒	□	D	▽	4	Trazer peça do secador
2	○	⇒	□	D	▽	2	Inspecionar a peça
3	●	⇒	□	D	▽	2	Rebarbar a peça
4	●	⇒	□	D	▽	22	Esponjar a peça
5	○	⇒	□	D	▽	3	Colocar a peça no tapete
6	○	⇒	□	D	▽	8	Peça é transportada no tapete
7	○	⇒	□	D	▽	3	Colocar peça no transportador
8	●	⇒	□	D	▽	7	Enfornar peça

Figura 17 - Gráfico do processo do acabamento MEAP

O gráfico de processo desta secção transmite de imediato duas ideias acerca da mesma: a operação de acabamento (rebarbar a peça e esponjar) apresenta um tempo bastante superior às outras e, existe um grande desperdício associado ao transporte de peças.

Tal como sucedia na secção de vidração, os tempos de acabamento das peças diferem muito dependendo da tipologia da peça em questão. Desta forma, a solução desenhada no processo de acabamento deverá ter este aspeto em consideração.

Observando a secção em pormenor, é possível concluir que os operadores ocupam muito do seu tempo em operações que não acrescentam valor, tais como espera, transporte e movimento. De forma a aumentar a produtividade desta seção devem ser eliminados, ou reduzidos ao máximo possível, estes desperdícios. Na verdade, de acordo com os tempos de desperdício recolhidos é possível concluir que em média, cerca de 25% do tempo ocupado pelos operadores nas operações de acabamento é puro desperdício.

Na tabela 5 são apresentadas algumas operações que representam desperdício, bem como o tempo despendido pelos operadores nas mesmas. O *layout* desta secção foi também recolhido, sendo apresentado na figura 18.

Tabela 5 - Tempos de transporte no acabamento MEAP

<i>Descrição</i>	<i>Observações (segundos)</i>										<i>Média</i>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Transporte do secador N para o posto 1	4,38	3,6	4,38	3,21	3,35	3,69	3,69	3,35	4,3	3,73	3,77
Transporte do secador S para o posto 2	4,04	4,66	4,46	4,92	4,86	4,24	5,11	5,42	4,87	4,34	4,69
Transporte do posto 1 para roda	1,85	1,24	1,87	1,55	1,78	1,17	2,26	1,2	2,21	1,48	1,66
Transporte do posto 2 para tapete	2,37	1,22	1,79	1,39	1,08	1,76	1,85	1,81	1,59	1,85	1,67
Transporte da roda/tapete para secador	2,56	3,56	5,3	3,31	5,95	4,38	3,96	5,94	5,72	5,54	4,62

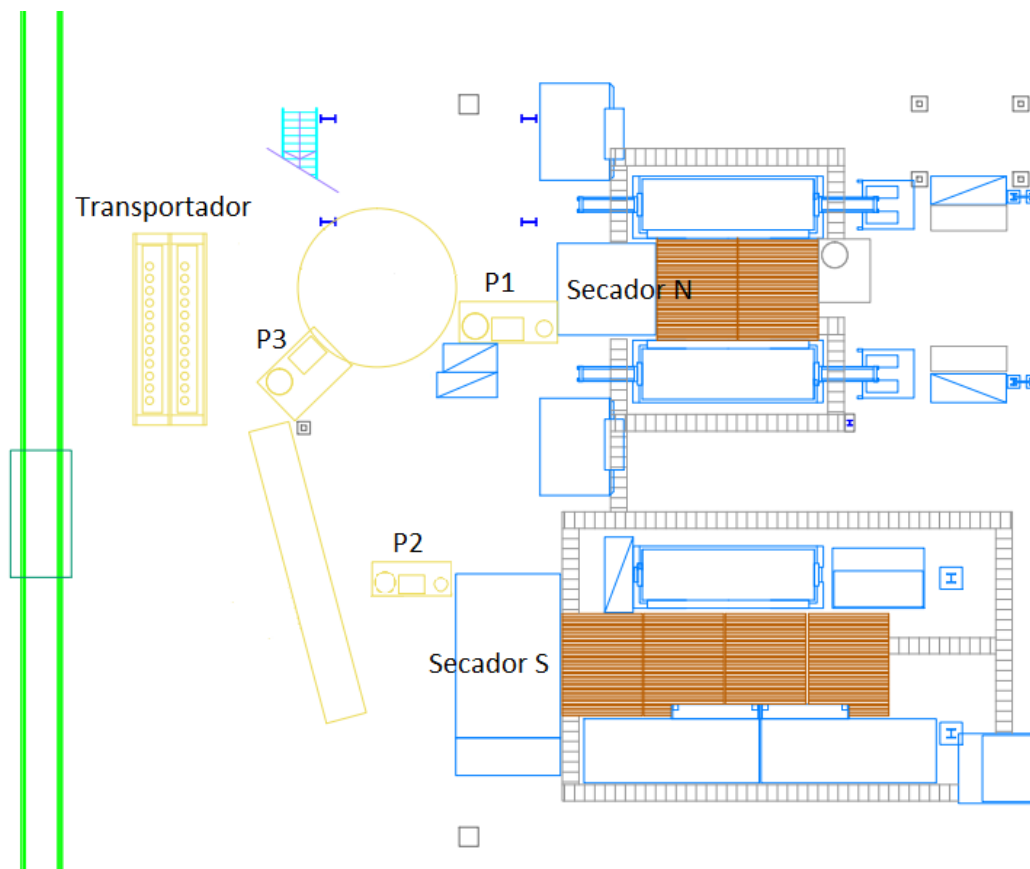


Figura 18 - Layout MEAP

É possível verificar que os elevados desperdícios identificados se devem principalmente ao *layout* da secção, pois este favorece a deslocação de operadores de forma a fazerem o abastecimento e evacuação das peças.

O facto de os secadores apresentarem tempos de ciclo distintos, bem como as máquinas que conformam as peças, origina que operadores situados nos postos P1 e P2 apresentem uma carga de trabalho superior.

4.2 CONSTRUÇÃO DO VSM

A partir da informação adquirida no terreno através de observação direta, registo de tempos e conversas junto de operadores, procedeu-se à aplicação da ferramenta *Value Stream Mapping* com o objetivo de compreender o processo em análise.

Recorreu-se ainda à recolha de dados históricos que pudessem revelar-se pertinentes para a construção do VSM, através do sistema integrado de gestão SAP, tais como:

- Tempos de processamento por referência e secção;
- Tempos de ciclo das operações;
- Quantidade de peças processadas por dia;
- Produtividade das secções de acabamento e vidração;
- Taxa de defeitos por operação.

Durante o processo de recolha de dados, verificou-se existir um elevado número de referências conformadas no centro MEAP. Os tempos de processamento das peças nas fases posteriores à sua conformação variam principalmente devido à tipologia de peça e, como existe uma grande variabilidade de peças no fluxo de produção, isto constitui uma dificuldade acrescida. Assim, foi realizada uma análise ABC de forma a seleccionar a família de produto mais significativa em termos de vendas, facilitando a construção do VSM e a posterior análise do processo produtivo. Desta forma, retirou-se do SAP uma listagem com informação do histórico de vendas por produto produzido no centro MEAP.

Os resultados obtidos indicam que cerca de 80% das vendas se concentram em 71 referências, que representam aproximadamente 19% do número de referências totais analisadas. A curva ABC é apresentada de seguida na figura 19, enquanto no anexo B se encontra a tabela que permitiu a construção da curva.

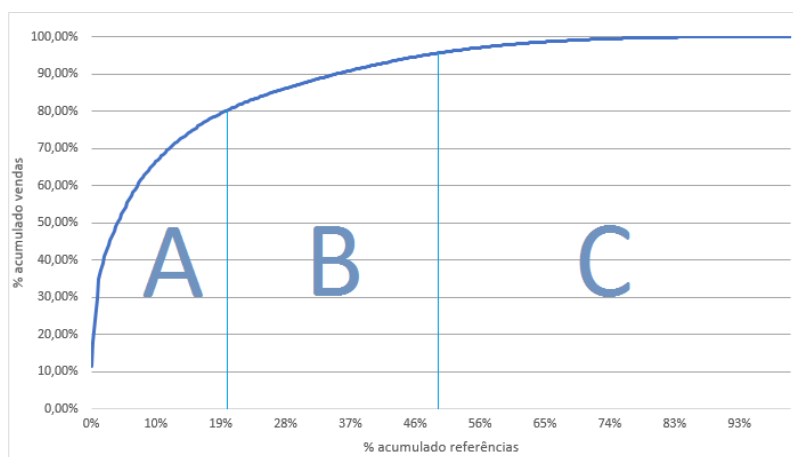


Figura 19 - Análise ABC

Analisando mais detalhadamente a classe A obtida, observa-se que as primeiras quatro referências representam em conjunto cerca de 30% das vendas. Estas quatro referências pertencem à mesma família, e portanto será escolhida como representativa do sistema de forma a facilitar a construção do VSM e consequente análise de processo.

O fluxo de valor foi mapeado inicialmente com o uso de *post-its* (ver figura 20), de forma a evidenciar visualmente atividades de valor acrescentado e atividades que representam desperdício do ponto de vista do cliente final.

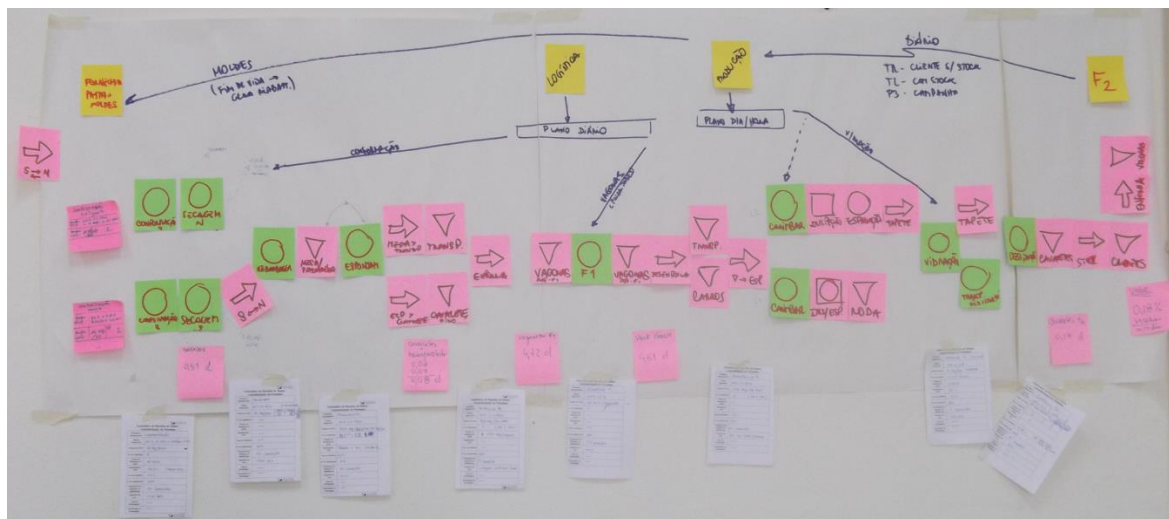


Figura 20 - Construção do VSM através de post-its

Os *post-its* verdes representam operações que acrescentam valor do ponto de vista do cliente, enquanto os cor-de-rosa simbolizam desperdícios do processo. Desta forma, são facilmente identificadas as atividades que devem ser removidas do processo de forma a tornar o mesmo mais eficiente. A construção do VSM através desta técnica proporciona uma maior concentração e por sua vez, compreensão do fluxo de materiais e informação.

Na figura 21 apresenta-se o resultado da ferramenta VSM, construída de forma convencional.

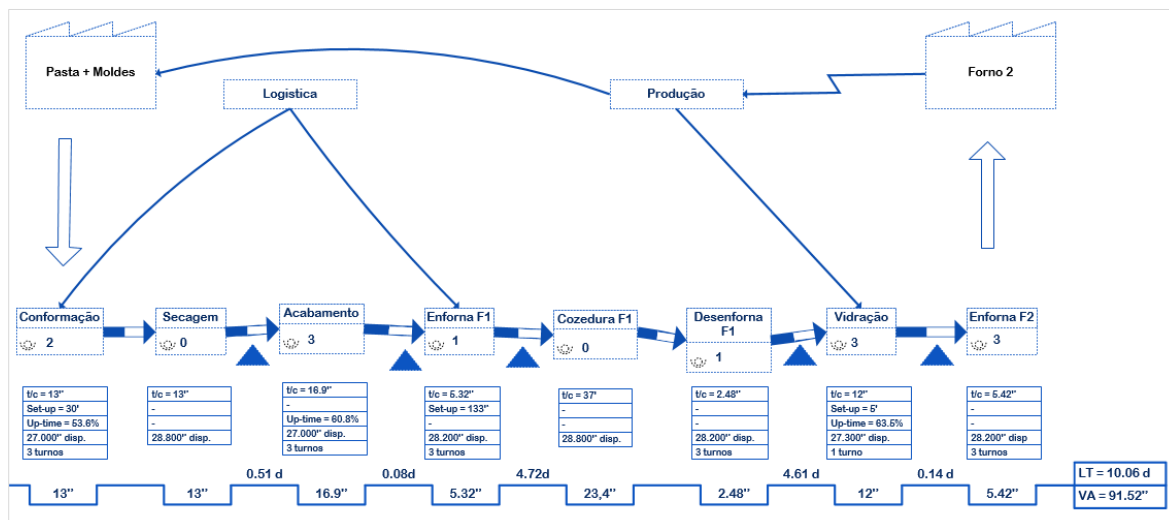


Figura 21 - Mapeamento do fluxo de valor

Através da análise do mapeamento de fluxo realizado, é possível constatar uma disparidade considerável entre o *Lead Time* do processo e o tempo de valor acrescentado do mesmo – 10,06 dias de LT face aos 91,52 segundos de tempo de processamento de valor acrescentado. Em grande parte tal deve-se à capacidade e ao tempo de ciclo do F1, sendo que estas variáveis obrigam ao acumular de inventário antes da primeira cozedura, impedindo a obtenção de um fluxo constante.

Após a saída das peças do mesmo forno verifica-se outro grande ponto de *stock*, pois as peças necessitam de arrefecer antes de avançarem para o processo seguinte, a vidração. O facto de este processo apresentar índices de produtividade reduzidos face ao desejável e trabalhar apenas a um turno contra os três verificados no processo de conformação, leva igualmente ao acumular de *stock* a montante do processo de vidração.

Como verificado através do mapeamento do fluxo de valor, existe um elevado número de peças já processadas na secção de vidração que ficam a aguardar pela operação de enforna para que depois possam seguir em vagonas para a segunda cozedura. Este tempo de espera potencia o aparecimento de defeitos nas peças, e como parte do desafio deste projeto espera ser-se possível diminuir o número de peças que ficam a aguardar por esta operação. Desta forma, recorreu-se à contagem das peças que se encontram à espera pela operação de enforna no final do turno. Espera-se comparar este valor com o encontrado no término do projeto. Os dados recolhidos encontram-se no anexo C.

Verifica-se ainda que o planeamento de produção na secção de vidração é ajustado várias vezes no mesmo dia, de acordo com o *mix* de produtos que chegam à secção, às

prioridades de encomenda e às restrições de enfora. Assim, é desejável reduzir ao mínimo possível o tempo de preparação das linhas para a produção de uma nova referência.

Conclui-se que o principal motivo para o elevado LT verificado se deve às quantidades de *stock* encontradas entre os processos, que levam à diminuição dos níveis de serviço e ao aumento de custos extras relacionados com a baixa produtividade e a não qualidade das peças.

4.3 DEFINIÇÃO DE KPI'S

Com o objetivo de avaliar o desempenho global do projeto levado a cabo foram construídos indicadores chave. Estes focam-se em aspetos específicos do sistema que se pretende monitorizar, demonstrando a evolução dos mesmos de acordo com o impacto de medidas aplicadas no decorrer do projeto. Fornecem ainda uma ideia sobre o estado atual da secção e um ponto de partida, isto é, uma base de trabalho e um ponto de comparação futuro.

4.3.1 Produtividade do acabamento MEAP

Este KPI visa medir os índices de produtividade da secção de acabamento da MEAP, isto é, qual o nível de peças que se conseguem acabar de acordo com os recursos existentes na secção. Um índice de produtividade de 100% significa que a secção se encontra a trabalhar no limite da sua capacidade.

Este indicador será calculado através da seguinte fórmula:

$$\text{Produtividade Acabamento MEAP} = \frac{\text{Quantidade de peças acabadas}}{\text{Capacidade}} \times 100$$

O numerador representa o valor real de peças acabadas por dia, enquanto o denominador é o número teórico de peças que deviam ter sido acabadas nesse dia. Este valor é calculado recorrendo a dados históricos do tempo de acabamento das referências processadas.

O valor de partida será a média dos índices de produtividade dos meses de Janeiro, Fevereiro e Março de 2014, que corresponde a 60,8%.

A periodicidade de atualização do indicador será semanal, com o objetivo de monitorizar a evolução do mesmo.

4.3.2 Produtividade da vidração

O valor deste indicador será obtido através da fórmula:

$$\text{Produtividade vidração} = \frac{\text{Quantidade de peças vidradas}}{\text{Capacidade}} \times 100$$

O método de cálculo deste indicador é semelhante ao anterior, e com ele é pretendido medir os níveis de peças vidradas por dia na secção, face à sua capacidade teórica. A periodicidade de medição do indicador será semanal, de forma a visualizar o impacto das ações levadas a cabo para a prossecução do objetivo.

O valor de partida será a média dos meses de Janeiro a Julho de 2013, o que representa um índice de produtividade de 63.5%.

4.3.3 Eficiência do processo

Esta métrica pretende dar a conhecer a percentagem de operações de valor acrescentado existentes no fluxo produtivo em causa, isto é, desde a conformação de peças na MEAP até à enforna na secção de vidração, imediatamente antes da entrada no F2, o “cliente” do processo. A fórmula de cálculo deste indicador é apresentada de seguida:

$$\text{Eficiência do processo} = \frac{\text{Quantidade de atividades de valor acrescentado}}{\text{Total de atividades do processo}} \times 100 = \frac{12}{36} \times 100 = 33\%$$

O número de atividades totais e de valor acrescentado foi obtido através da visualização do VSM construído com o uso de *post-its*, tendo-se chegado a uma eficiência de 33% antes do início do projeto.

Este valor será novamente calculado no final, com o objetivo de comparar a quantidade de atividades pelas quais o cliente não está disposto a pagar que foram eliminadas.

4.4 DESENHO DO PROCESSO

O desenho do processo, isto é, o conjunto de soluções apresentadas que visam o aumento da eficiência global do projeto em estudo começa a ser pensado no sentido inverso ao fluxo de peças do processo produtivo, de jusante para montante, tal como indica o princípio *pull*.

Desta forma, a primeira área alvo de intervenção será a mais próxima do cliente do processo, a vidração, seguida posteriormente pela área de acabamento. Pretende-se desta forma desenhar os processos para que o tempo de ciclo iguale o tempo de *takt*. Melhorando também os processos de jusante para montante, possibilitamos aos mesmos que lidem com a variação do número de peças provenientes dos seus fornecedores internos.

Se o foco inicial recaísse sobre o processo mais a montante existiria a possibilidade de aumentar a cadência de produção do mesmo, sem que o seu processo cliente tivesse a capacidade necessária para processar as peças recebidas, aumentando assim o nível de inventário intermédio.

De seguida são descritos detalhadamente os passos seguidos para a obtenção do desenho de processo final:

a) Sincronização externa

A produção interna deve estar sincronizada com o ritmo de procura do cliente, que neste caso concreto é o F2. Este ritmo pode ser calculado através da fórmula:

$$Takt\ Time = \frac{\text{tempo disponível de produção}}{\text{procura}}$$

Substituindo as variáveis pela realidade da VA, obtemos o seguinte resultado:

$$Takt\ Time = \frac{24 \times 60 \times 60 \times 0.255}{4111} = 5,4''$$

O numerador da fórmula apresenta o tempo disponível do forno por dia, sendo que este tempo é multiplicado pela ocupação do forno para peças MEAP, pois o projeto incide unicamente sobre as peças produzidas nessa mesma zona e o forno coze peças de várias secções. Desta forma temos o tempo disponível do forno para as peças MEAP, a dividir pelo valor histórico da média de peças produzidas por dia nesse mesmo centro.

Isto significa que as duas linhas de vidração em estudo devem produzir em conjunto a cada 5,4 segundos uma peça, de forma a atender exatamente as necessidades do cliente. Ou seja, cada linha deveria a cada 10,8" produzir uma peça.

O processo de vidração deve então ser desenhado tendo sempre em vista este valor, de forma a eliminar todos os desperdícios associados à produção não sincronizada com a procura.

b) Sincronização interna – Vidração

Tendo em vista a obtenção da sincronização interna das duas linhas de vidração em estudo, procedeu-se ao balanceamento das mesmas. Através da observação direta das linhas, é possível verificar a existência de uma elevada variabilidade de tipologia de peças a serem processadas nestas linhas. Esta variabilidade não é exclusiva à dimensão das peças, incluindo também operações extras em certas peças, como por exemplo o carimbo.

O comportamento das linhas foi estudado, utilizando-se para o efeito o exemplo de uma das referências mais produzidas de acordo com a análise ABC efetuada na análise inicial.

Para essa referência, foi desenhado o gráfico de precedência e posteriormente analisado (ver figura 22).

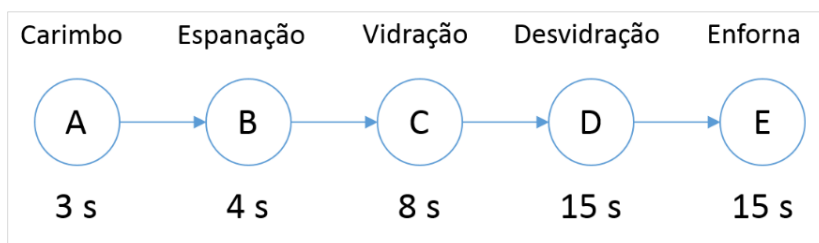


Figura 22 - Diagrama de precedências do processo de vidração

Estas operações são executadas por quatro operadores, sendo possível observar que neste caso concreto as operações mais demoradas são a desvidração e enforna. Também

através do diagrama de precedências é possível retirar o tempo de ciclo da linha, que será igual ao tempo da operação mais demorada.

Conclui-se assim que o tempo de ciclo da linha é de 15 segundos, em contraste com os 10,8 segundos que se deseja alcançar.

Com os dados obtidos até ao momento é possível calcular o número mínimo de postos de trabalho necessários na linha, através da seguinte fórmula:

$$\text{Quantidade de trabalhadores} = \frac{\text{Tempo de ciclo total}}{\text{Takt Time}}$$

Substituindo na fórmula os valores obtidos, chega-se ao seguinte resultado:

$$\text{Quantidade de trabalhadores} = \frac{45}{10,8} = 4,2$$

O valor obtido através desta fórmula indica que quatro trabalhadores não serão suficientes para obter a produção desejada de acordo com o tempo de *takt*, no entanto, cinco operadores será demasiado.

Observando o *layout* existente nestas linhas, é possível concluir que as mesmas se encontram distantes da linha de enfora. Isto obriga a que as peças, depois de desvidradas, sejam colocadas em cavaletes (ver figura 23), para depois serem movimentadas para próximo das vagonas e posteriormente enforadas.



Figura 23 - Cavalete para transporte de peças

Este sistema origina um número elevado de transporte de peças, movimentação e espera de pessoas, e defeitos de qualidade devido ao manuseamento excessivo das peças. Tudo isto são desperdícios que devem ser eliminados e, como tal, foi sugerida a aproximação das duas linhas o máximo possível da linha de enfora, fazendo-se esta operação diretamente sem o auxílio de cavaletes.

Na linha 143 as operações de carimbo e espanação são efetuadas em estruturas distintas, e estas estão colocadas a alguma distância entre si. Desta forma, para peças que necessitem de carimbo, o operador tem de se movimentar entre as duas estruturas transportando pequenos lotes de peças. Na solução desenhada é sugerida a integração destas operações e aproximação das duas estruturas, colocando-as lado a lado de forma a facilitar o fluxo de peças e os movimentos do operador.

Como a produção da linha é limitada pela capacidade do vidrador, a nova solução deve compreender as restrições a que este se encontra sujeito, de forma a maximizar o rendimento do mesmo e consequentemente da linha.

Através da recolha de tempos de paragem do vidrador, associando a estas uma causa, foi possível concluir que em cerca de 50% do tempo o vidrador está a aguardar a desvidração das peças. As restantes causas prendem-se com a movimentação de cavaletes e por vezes o abastecimento das linhas.

Considerando que através da aproximação das linhas para o local de enfora será possível acabar com o uso de cavaletes, fazendo-se a enfora diretamente da linha para a vagona, resta eliminar as paragens do vidrador associadas à desvidração de peças e ao abastecimento da linha.

Foi então proposto o uso de dois *buffers* intermédios, um colocado entre a espanação de peças e a vidração, e outro entre a vidração e a desvidração. O uso do *buffer* entre o vidrador e o desvidrador, irá impedir que o vidrador pare, pois tem sempre um local onde colocar as peças. Colocando também um *buffer* entre a espanação e o vidrador, assegura-se a continuidade de abastecimento de peças ao vidrador. Aproximando ainda os postos de abastecimento (carimbo e espanação), com os postos de extração de peças (desvidração e enfora), diminui-se a distância percorrida pelas peças e consequentemente o LT, melhorando o fluxo de peças e proporcionado ainda entreajuda entre os colaboradores dos dois postos. Isto é, se o operador de abastecimento assegurar a alimentação de peças ao vidrador por algum tempo, pode deslocar-se ao fim de linha e apoiar na extração de peças.

Assim, assegura-se à linha capacidade para lidar com a variabilidade das peças, independentemente do tempo das mesmas nas diferentes operações. Por exemplo, para uma peça sem carimbo e de fácil espanação mas que demore mais tempo a desvidrar o operador de abastecimento poderá encher o seu *buffer* e, de seguida, deslocar-se ao posto de extração ajudando o operador a desvidrar peças. Para tal, o posto de extração deve estar equipado com um tapete extra de desvidração. No caso de peças que apresentem um tempo elevado de abastecimento, mas que sejam de fácil desvidração, este operador pode deslocar-se ao início de linha e apoiar no carimbo ou espanação da peça. Desta forma assegura-se que o vidrador nunca vai parar a produção, potenciando a linha.

O *buffer* utilizado para o efeito será uma mesa redonda giratória, pois apresenta maior capacidade quando comparado com outras soluções, como tapetes. Foi realizado desta forma um estudo no sentido de encontrar o diâmetro ideal do *buffer* a utilizar. Este não podia ser demasiado pequeno, pois iria originar constrangimentos no fluxo, nem demasiado grande, pois iria originar um grande acumular de inventário intermédio. Através do estudo realizado (ver anexo D), concluiu-se que o diâmetro ideal para as mesas a usar seria de 1,8 metros.

A última medida a ser tomada para aumentar a eficiência destas linhas, foi a introdução de um operador logístico. No sistema existente, os operadores de produção estavam também encarregues das tarefas logísticas, quebrando desta forma o fluxo de peças e ritmo da linha. Com a introdução do operador logístico, os operadores das linhas concentram-se exclusivamente em operações de valor acrescentado.

Tarefas necessárias ao funcionamento da linha de vidração, tais como abastecimento de peças, mudança e abastecimento de vidro e manuseamento de vagonas ficam ao encargo do operador logístico. Se em algum momento este operador encontrar-se com tempo disponível, poderá ajudar no posto de espanação e carimbo ou de desvidração de peças.

Tendo em consideração as alterações apresentadas em cima, acredita-se que para a peça estudada será possível obter o gráfico de precedência apresentado na figura 24.

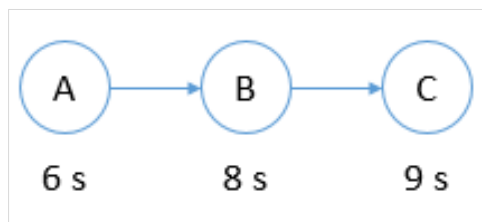


Figura 24 - Diagrama de precedências após alterações

A operação A representa o abastecimento da peça, depois de integradas as operações de carimbo e espanação, enquanto a operação B representa a vidração. A operação C representa a integração das operações de desvidração e enfora, realizada por dois operadores e sem os desperdícios anteriormente mencionados.

O tempo de ciclo desta operação passará assim de quinze segundos para nove (menor que os 10,8 segundos desejados), e o recurso gargalo continuará a ser as operações de desvidração e enfora. Apesar de teoricamente necessitarmos de cinco operadores, através da introdução dos dois *buffers* acredita-se que com quatro operadores será possível atingir os níveis de produção desejados, e até mesmo reduzir o tempo de ciclo para oito segundos. Isto será possível, pois como a operação de abastecimento demora menos tempo, este operador poderá apoiar pontualmente nas operações de desvidração e enfora.

De forma a testar a viabilidade da solução foi construído um modelo à escala real, simulando-se o fluxo de pessoas e de materiais, de acordo com os tempos estimados de processamento em cada operação (ver figura 25).



Figura 25 - Modelo das linhas de vidração

O desenho de solução proposto para esta secção encontra-se na figura 26.

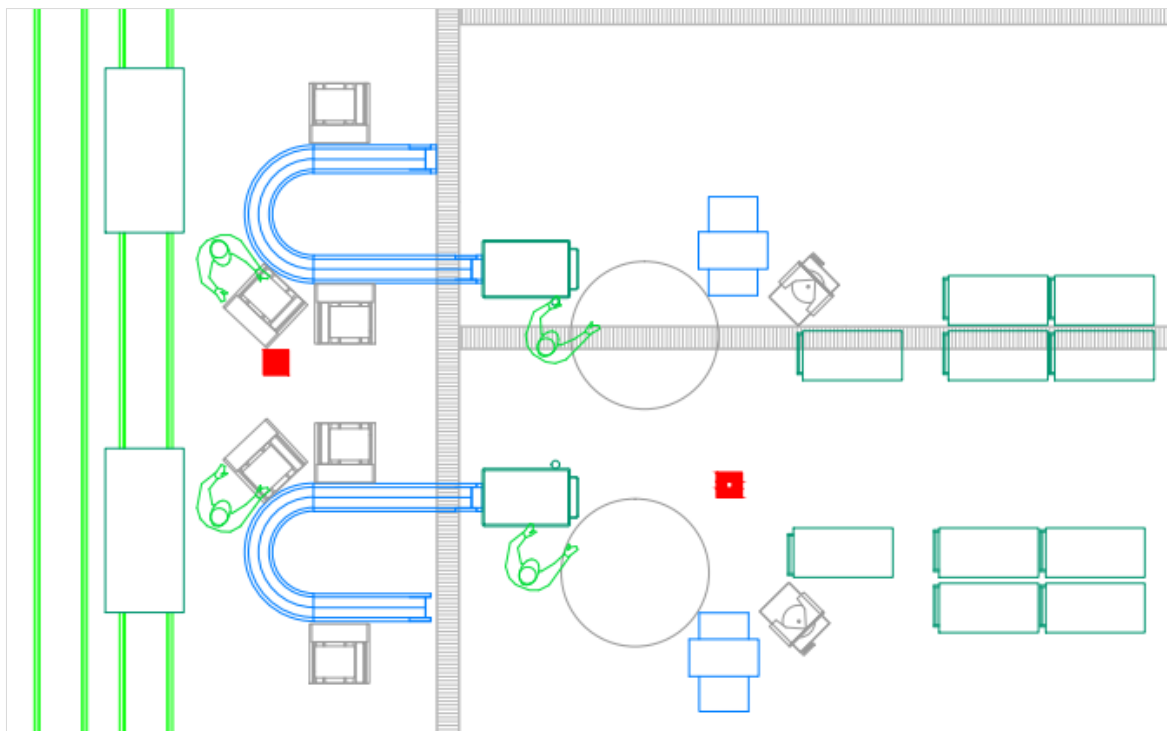


Figura 26 - Desenho de solução da vidração

c) Sincronização interna – Acabamento MEAP

Como apontado na análise de dados efetuados, a secção de acabamento de peças provenientes das máquinas de enchimento a alta pressão apresenta um número elevado de desperdício associado ao processo e às operações realizadas.

Devido ao tempo ocupado pelos operadores em tarefas logísticas, como o abastecimento de peças, o tempo desperdiçado neste transporte irá refletir-se nos níveis de produção.

Existe ainda falta de capacidade da secção para lidar com a variabilidade quer de tipologia de peças, quer de quantidade de peças conformadas. Se estivermos na presença de peças com tempos elevados de acabamento ou na presença de um elevado número de peças conformadas, existirá sobrecarga na secção. Nestes casos, as peças são colocadas em cavalete e transportadas para uma outra secção, o acabamento da olaria, para serem

processadas. Previne-se assim o aparecimento de defeitos nas peças, tal como a queda de resíduos, apesar do evidente desperdício de transporte.

Através da observação do método de trabalho, foi possível observar a existência de operações desintegradas, como é o exemplo da rebarba e esponjamento de peças. Um número elevado de peças são rebarbadas num posto, seguindo depois para o posto seguinte para serem esponjadas. Desta forma, o número de pontos de processamento da peça aumenta, sendo este um fator crítico no que concerne à qualidade das peças produzidas.

Tendo em consideração os aspetos acima mencionados, foi desenhada uma solução que pretende eliminar os desperdícios, aumentando a eficiência da secção. A solução proposta consiste na alteração de *layout* e na introdução de um operador logístico, bem como na eliminação dos registos efetuados nesta secção.

O novo *layout* deverá otimizar o fluxo de materiais desde o momento da sua entrada até ao momento de evacuação para a vagona, permitindo que o operador processe a peça na sua totalidade (rebarba e esponjamento) e só depois a liberte. A presença de um operador logístico na secção que assegura o abastecimento da linha proporciona aos outros operadores um foco total em operações que acrescentam valor, concentrando os desperdícios de transporte e movimento num único operador.

Este *layout* deverá ainda apresentar um posto de trabalho extra, pois espera-se que o operador logístico ajude a acabar peças quando tem tempo disponível entre as suas tarefas.

De forma a testar a solução desenhada para esta secção, foi elaborado um estudo de simulação, desenvolvido no *software* Arena® (ver estudo completo no anexo E). Como tal, o sistema foi modelado de duas formas distintas: no seu estado atual e com as alterações sugeridas no desenho da nova solução (ver figura 27). O sistema apresentado na figura é um modelo, ou seja, uma abstração da realidade. O objetivo é que se comporte da mesma forma que o sistema real, de forma a comparar o número de peças acabadas por dia em ambas as alternativas e confirmar os potenciais benefícios da implementação das soluções propostas.

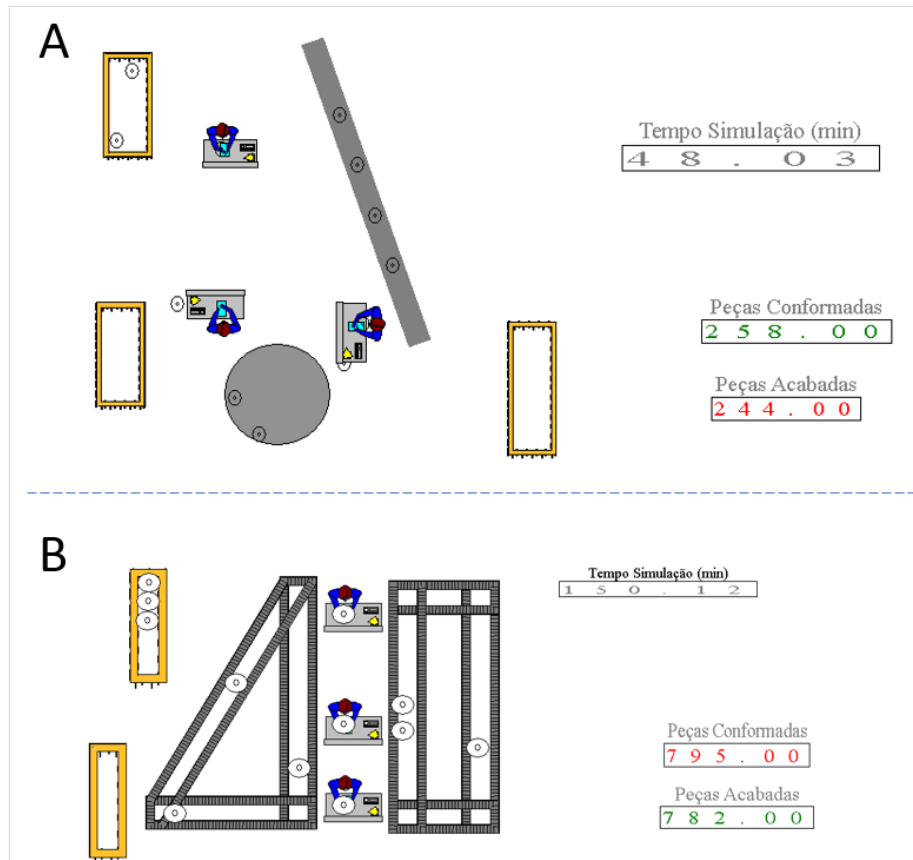


Figura 27 - Animação da secção antes (A) e depois (B) das alterações sugeridas

Nas duas alternativas estudadas, o tempo de criação de peças foi considerado determinístico, portanto o número de peças para acabar em ambos os sistemas era idêntico. Quanto aos tempos de processamento de peças e de desperdícios, como movimento e transporte de peças, seguem uma distribuição de probabilidades de forma a simular a variabilidade presente no sistema real (ver figura 28).

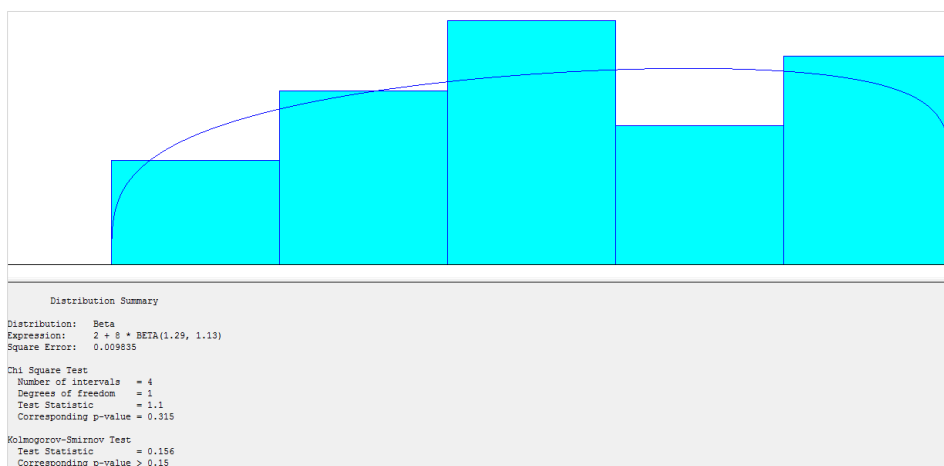


Figura 28 - Exemplo de ajuste de tempos a distribuições de probabilidade

O exemplo apresentado na figura 28 segue uma distribuição do tipo $2 + 8 * \text{BETA}(1.29, 1.13)$, e procura simular o tempo despendido pelo operador do posto 3 em operações de transporte de peças. O ajuste da distribuição foi avaliado através do valor p, do erro quadrático e de inspeção visual.

O movimento dos operadores foi simulado considerando o recurso operador como um transportador. De seguida, a prioridade do processo foi considerada “alta” e a do transporte “baixa”, assegurando que o operador termina de processar a peça e só depois se desloca para trazer mais uma.

Da primeira vez que o modelo correu, a quantidade de peças acabadas não foi a desejada, pois não era semelhante ao valor real. O motivo foi a atribuição de capacidade de transporte de valor “1” aos operadores, quando na verdade um operador transporta mais que uma peça simultaneamente.

Posteriormente, o modelo foi modificado de acordo com as premissas relativas à nova solução desenhada, nomeadamente postos sem desperdícios associados. Assim, foram retirados os tempos de transporte e movimento de dois operadores.

Para ambos os modelos, a duração de replicação foi de um dia de trabalho e o modelo replicado por dez vezes. O número de replicações foi obtido por tentativa e erro até que o intervalo de confiança obtido fosse razoável.

Através deste estudo foi possível verificar que a solução apresentada é válida, na medida em que através da mesma se espera obter:

- Ganho de produtividade na ordem dos 16%;

- Redução do tempo de espera das peças provenientes do secador S de $31,3 \pm 0,55$ minutos para $13,8 \pm 0,41$ minutos;
- Redução do tempo de espera das peças provenientes do secador N de $20,2 \pm 1,05$ minutos para $13,9 \pm 0,42$ minutos;
- Ocupação dos três recursos em 97% (redução da ocupação do operador 1 que se encontrava em 98,7% e aumento da ocupação do operador 3 que se encontrava em 55,6%).

Confirmadas as vantagens associadas às alterações planeadas, foi desenhada a solução final para a secção (ver figura 29).

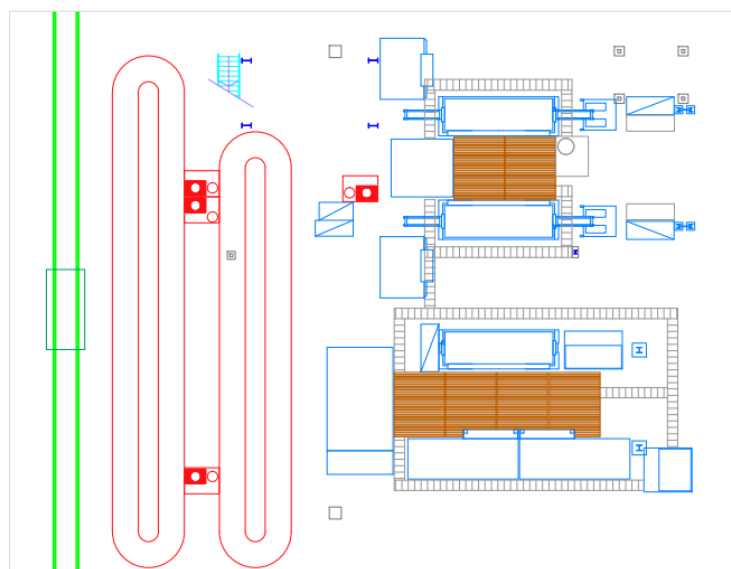


Figura 29 – Desenho de solução do acabamento MEAP

4.5 IMPLEMENTAÇÃO

A implementação das soluções propostas ocorreu em momentos distintos, tal como detalhado no cronograma (ver figura 13).

Ainda que estas implementações fossem separadas por um espaço temporal considerável, a fase de implementação consistiu para ambas no acompanhamento das alterações dos *layouts* de forma a garantir que os pressupostos definidos no desenho de solução estavam de acordo com o aplicado no terreno.

Importa ainda referir que a solução implementada no terreno não correspondeu exatamente à solução desenhada, pois tentou-se construir aquela com os recursos existentes na organização e com pouco investimento, não descurando os pressupostos fundamentais para a obtenção dos resultados pretendidos.

Na figura 30 e 31 são apresentados os *layouts* implementados da secção de vidração e acabamento, respetivamente.

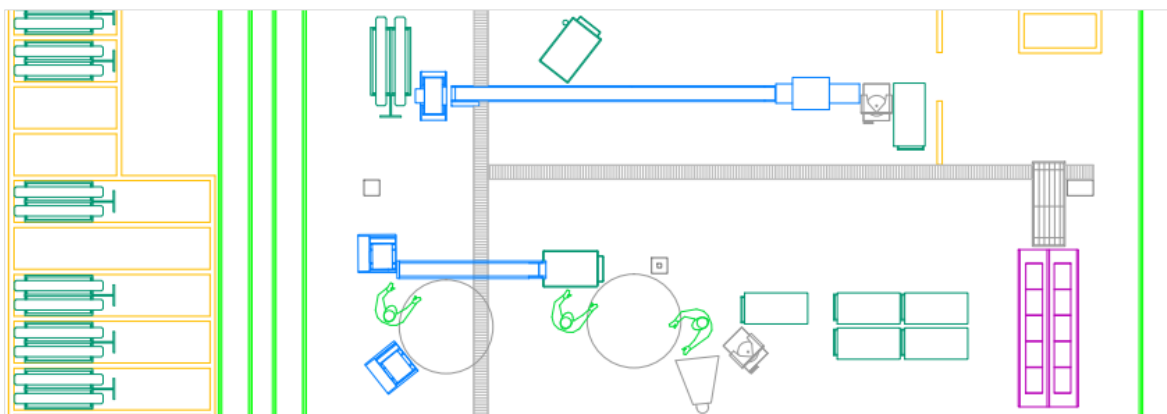


Figura 30 - Layout final da vidração

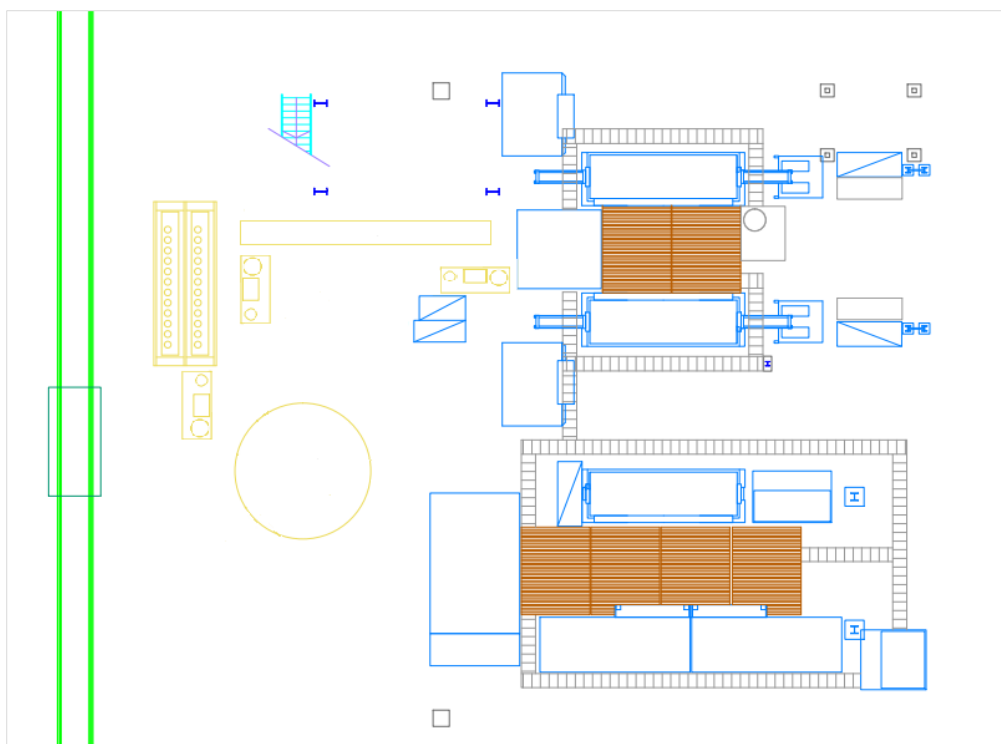


Figura 31 - Layout final do acabamento MEAP

Após as alterações de *layout* e início de produção, foi feito um acompanhamento no terreno junto dos operadores no sentido de realizar ajustes e esclarecer dúvidas que pudessem existir em relação aos papéis a desempenhar pelos mesmos, nomeadamente ao operador logístico.

Foram ainda medidos tempos de forma a comparar os novos sistemas com os existentes anteriormente (ver tabela 6), de forma a apoiar as conclusões a retirar acerca do desempenho global do projeto desenvolvido.

Tabela 6 - Cálculo da produtividade das linhas após alterações

Linha	Referência	Hora início	Hora fim	tempo trabalho (s)	Tempo vidrador (s)	Qt vidrada	prod.
142	Pr rectangular carré	08:05:00	09:25:00	4800	8,55	526	93,7%
142	Pr Pasta 24 Perla	09:26:00	09:56:00	1800	8,08	188	84,4%
142	Pr. Coupé 3A	10:22:00	10:55:00	1980	9,90	146	73,0%
143	Pires chá spirit hotel	08:10:00	09:40:00	5400	3,36	1135	70,7%
143	Pires peq. Almoço spirit hotel	09:41:00	09:54:00	780	3,28	161	67,8%
143	Tigela 13 Buffet	10:33:00	11:16:00	2580	3,88	420	63,2%
143	Tigela 16 buffet	12:26:00	13:13:00	2820	4,57	392	63,5%
143	Pr. Pasta 24 Perla	13:14:00	13:34:00	1200	4,92	159	65,1%

Para cada referência observada nas linhas 142 e 143 após as alterações efetuadas, foram medidos os tempos do vidrador (e posteriormente calculada a média da amostra), a hora de início e fim de processamento dessa mesma referência e a quantidade de peças vidradas. Através destes dados, a produtividade da linha para a referência em questão pode ser calculada da seguinte forma:

$$produtividade = \frac{Qt \text{ vidrada}}{Qt \text{ teórica vidrada}} \times 100$$

Em que,

$$Qt \text{ teórica vidrada} = \frac{\text{tempo de trabalho}}{\text{tempo do vidrador}}$$

Um índice de produtividade de 100% indica que durante o tempo de trabalho disponível, o vidrador nunca parou, ou seja, obteve-se um fluxo contínuo e a linha está a trabalhar no

limite das suas capacidades. Os resultados das produtividades por linha encontram-se na figura 32.

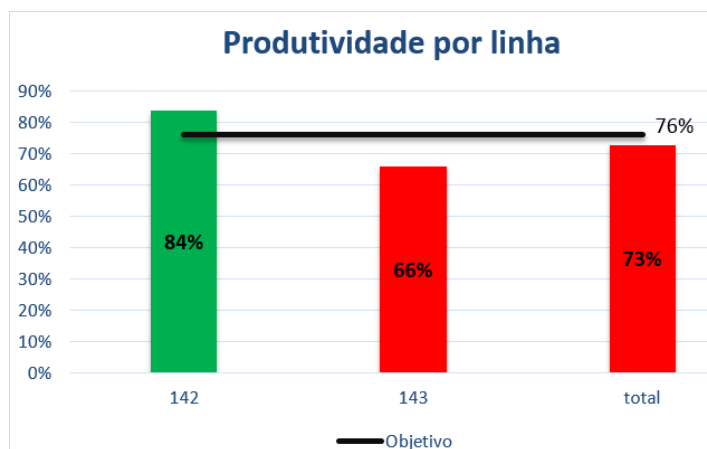


Figura 32 - Produtividade por linha

Analisando a figura 32 observa-se que a linha que sofreu menos modificações físicas, a 142, é a que apresenta um maior índice de produtividade. Tal pode ser explicado por dois motivos: A principal causa de paragem do vidrador desta linha devia-se a problemas na evacuação das peças da mesma, ou seja, a colocação de peças em cavalete. Este problema foi resolvido através da colocação direta de peças em vagonas.

Em segundo lugar, devido às poucas alterações físicas efetuadas os papeis a desempenhar por cada operador eram semelhantes aos praticados anteriormente, não sendo necessário um período de ambientação, como aconteceu com a linha 143.

Relativamente à solução implementada no acabamento da MEAP, apesar das melhorias verificadas na secção, continuou a observar-se algum desperdício associado a transporte e movimentação por parte dos operadores que deveriam apenas acrescentar valor.

4.6 AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS

Neste ponto são divulgadas as medições efetuadas após as alterações realizadas às áreas sujeitas a intervenção, e comparadas face ao existente antes das modificações e aos objetivos propostos para o projeto. De forma a facilitar a medição, acompanhamento e comunicação de resultados, bem como analisar a resposta das secções face às alterações ocorridas no terreno, foram definidos alguns indicadores de desempenho.

De seguida apresentam-se os resultados obtidos no projeto desenvolvido, de acordo com os KPI's estabelecidos.

4.6.1 PRODUTIVIDADE DA VIDRAÇÃO

Como é possível observar na figura 33, entre Setembro e Dezembro assiste-se a uma variação constante nos índices de produtividade da secção. Tal deve-se ao facto de nestes meses não se ter implementado nenhuma melhoria, fazendo-se apenas o acompanhamento dos valores verificados na secção, estando o processo sujeito às suas variações normais.

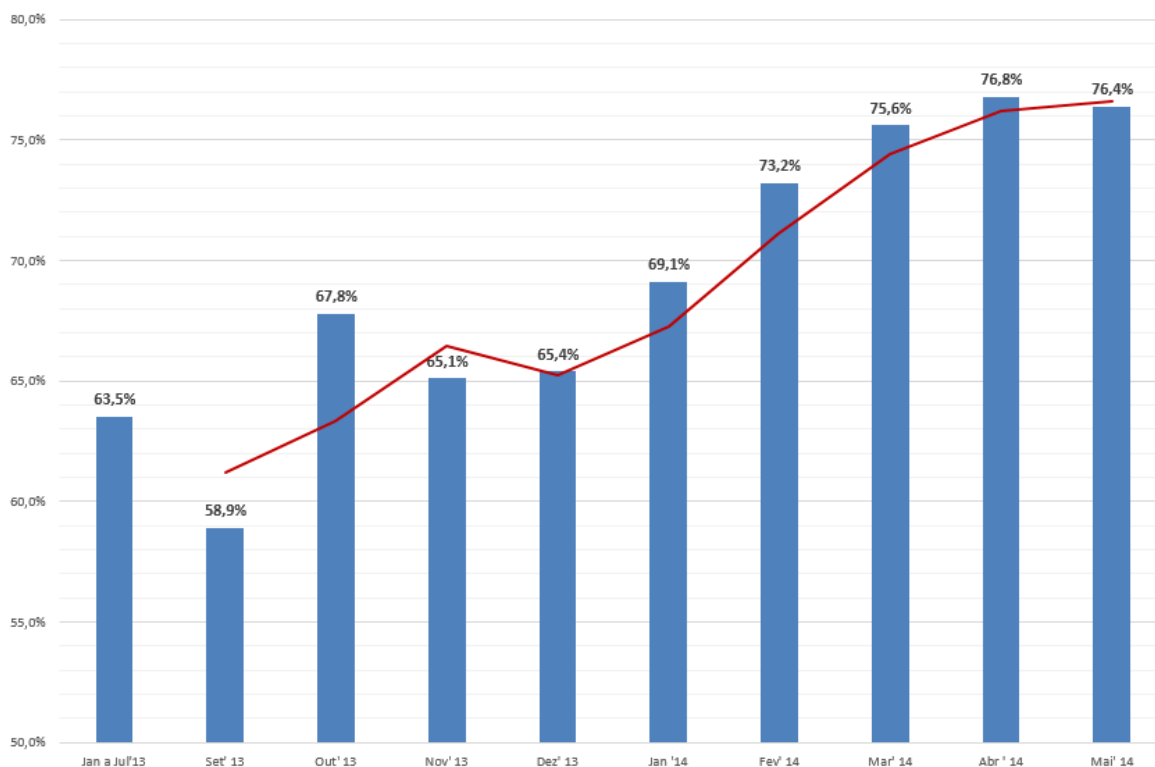


Figura 33 - Produtividade da vidração

A partir de Janeiro, e à medida que novas ações foram aplicadas no terreno, assiste-se a uma subida constante do valor medido. Apesar dos últimos valores medidos serem favoráveis, representando um aumento de produtividade na ordem dos 20%, apenas se pode concluir que os objetivos foram cumpridos se o processo estabilizar nestes valores.

Relativamente às quantidades de *stock* que se verificam no fim das linhas de vidração a aguardar a operação de enfora, e que agravavam os custos de não qualidade da organização, procedeu-se novamente à sua contagem no fim do projeto (ver anexo C). Comparando os valores de *stock* antes e depois do projeto verifica-se que foi possível diminuir a quantidade de stock em 83%.

4.6.2 PRODUTIVIDADE DO ACABAMENTO MEAP

Na figura 34 apresentam-se os resultados obtidos relativamente aos índices de produtividade do acabamento da MEAP.

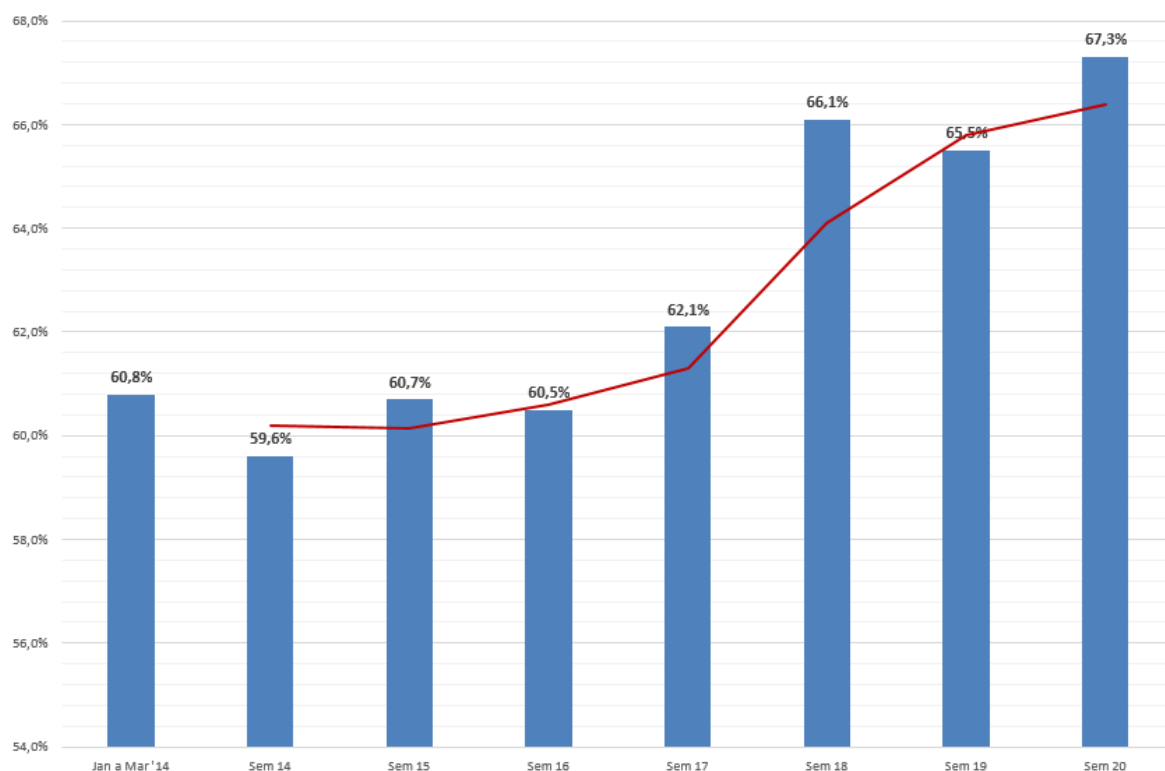


Figura 34 - Produtividade do Acabamento da MEAP

Verifica-se que este indicador foi medido por pouco tempo, não dando oportunidade ao mesmo para estabilizar. Assiste-se assim a uma inconstância nos valores apresentados, no entanto observa-se uma tendência crescente.

Importa ainda referir que durante este período se assistiu a um aumento de produtividade na ordem dos 10,7% face ao valor de partida. Acredita-se que será possível aumentar mais

a produtividade desta secção, pois a solução implementada no terreno não corresponde exatamente ao desenho de solução criado e, como tal, ainda se assistem a desperdícios de transporte e movimentação que prejudicam o desempenho da secção.

Verifica-se também uma diminuição do tempo de espera para as peças serem processadas, fazendo com que o sistema se aproxime da filosofia de fluxo contínuo pretendido, de forma a reduzir o LT do processo.

4.6.3 EFICIÊNCIA DO PROCESSO

Como referido anteriormente, a eficiência de um processo é calculada dividindo número de atividades de valor acrescentado pelo total de atividades do processo.

Inicialmente este valor foi calculado e concluiu-se que apenas um terço das operações ocorridas no processo em estudo constituíam valor. Após as alterações efetuadas, e tendo em conta que estas visavam sobretudo eliminar desperdícios no processo, este indicador foi novamente calculado, apresentando-se de seguida o resultado.

$$Eficiência\ do\ processo = \frac{12}{29} \times 100 = 41,4\%$$

Em comparação com o valor obtido no início do projeto verifica-se um aumento de cerca de 25% de operações de valor acrescentado no processo. Tal foi possível devido à eliminação de atividades nas secções de acabamento e vidração que constituíam puro desperdício, tal como o transporte e armazenamento de peças.

5. CONCLUSÃO

5.1 REFLEXÃO SOBRE O TRABALHO REALIZADO

Analisando todo o projeto executado na VA e descrito neste relatório, incidindo sobretudo nos resultados alcançados dado que estes fornecem uma visão global do desempenho do projeto, é possível destacar a eficácia da filosofia *Lean*.

Não desprezando o facto dos objetivos propostos para o projeto não terem sido atingidos na sua totalidade, constatou-se uma melhoria significativa na globalidade do processo. Tendo em consideração a importância da visão de um projeto *Lean* a longo prazo, segundo a literatura efetuada, e dado que este foi desenvolvido num curto espaço de tempo, importa assim realçar os benefícios significativos obtidos.

A aplicação de ferramentas *Lean* num processo de transformação revelou-se um dos principais desafios deste projeto. Acredita-se que certas ferramentas, como o balanceamento de linhas, são mais acessíveis a indústrias de montagem, onde a distribuição de tarefas por operadores revela-se mais simples, devido ao menor número de restrições existentes. Contudo, pensa-se que esta filosofia pode ser aplicada em qualquer indústria ou serviço, garantindo resultados favoráveis.

A tentativa de desenho de uma solução capaz de lidar com a variabilidade existente foi também um dos principais obstáculos no decorrer deste projeto, dado que a solução desenhada deveria estar preparada para lidar com inúmeras referências com tempos de processamento bastante distintos entre si.

Ainda incidindo sobre a metodologia utilizada, compreendeu-se a importância da comunicação como recurso chave para obtenção dos objetivos. Dado que a metodologia *Lean* lida sobretudo com pessoas, visto que estas são parte integrante dos processos de uma organização, é fulcral divulgar os resultados obtidos. A gestão de topo deve também comunicar a importância dos projetos desenvolvidos para a estratégia da organização, de forma a motivar a mudança cultural que esta filosofia exige.

Esta experiência revelou-se determinante para o enquadramento entre os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do percurso académico e a sua aplicação nos processos existentes numa organização.

5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Através das alterações efetuadas descritas neste relatório foi possível obter melhorias significativas nos processos sujeitos a intervenção, no entanto os objetivos propostos para este projeto não foram alcançados na totalidade.

Desta forma, foram ainda identificadas possíveis ações a realizar para melhorar o sistema estudado.

Um dos pilares da filosofia *Lean* é a melhoria contínua dos processos, e como tal, os processos de acabamento e de vidração devem ser acompanhados constantemente, de forma a identificar possíveis oportunidades de aperfeiçoamento.

Nestes mesmos processos deve-se ainda estudar a hipótese de automação de certas operações, como o caso da espanação ou da desvidração de peças. Acredita-se que a otimização destas operações irá permitir um pequeno aumento no desempenho do processo global.

A construção de *poke-yoke* nas máquinas de carimbo, consoante o tipo de referência, iria permitir a redução da taxa de defeitos de peças com carimbos nos locais errados, bem como a redução do tempo de *setup* necessário.

Assim que o processo de acabamento de peças da MEAP esteja estabilizado deve procurar estudar-se a hipótese de aplicação da ferramenta OEE nas máquinas de enchimento a alta pressão, de forma a aumentar o output de todo o processo.

Existem ainda operações que fazem parte do sistema onde se enquadra este projeto, como o caso da enforna no F1, que não foram estudadas devido a restrições de tempo, acreditando-se também que não proporcionariam ganhos tão elevados como os processos intervencionados. Importa assim, estudar e otimizar também as operações acima mencionadas de forma a atingir o máximo desempenho possível do sistema.

Um dos grandes problemas encontrados durante a execução deste projeto foi mesmo o planeamento de produção, que não tinha em consideração a capacidade da produção, nem mesmo as várias restrições a que esta está sujeita. Desta forma acredita-se que deveriam ser desenvolvidos esforços no sentido de aproximar o planeamento e a produção, atingindo um nível ótimo entre a maximização do serviço ao cliente e a minimização da entropia na produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(2012). "GEMBA KAIZEN versus MUDA, MURA, MURI." Distributed Generation & Alternative Energy Journal 27 (4): 5-7.

Adams, M., et al. (1999). Simulation as a tool for continuous process improvement. Simulation Conference Proceedings, 1999 Winter.

Bhasin, S. and P. Burcher (2006). "Lean viewed as a philosophy." Journal of Manufacturing Technology Management 17(1): 56-72.

Chen, J. C., et al. (2010). "From value stream mapping toward a lean/sigma continuous improvement process: an industrial case study." International Journal of Production Research 48(4): 1069-1086.

Chiarini, A. (2013). "Lean Organization: from the Tools of the Toyota Production System to Lean Office." Springer.

Hines, P., et al. (2004). "Learning to evolve - A review of contemporary lean thinking." International Journal of Operations & Production Management 24(9-10): 994-1011.

Holweg, M. (2007). "The genealogy of lean production." Journal of Operations Management 25(2): 420-437.

Howell, V. W. (2009). "5S FOR SUCCESS." Ceramic Industry 159(7): 17-20.

Howell, V. W. (2010). "Lean Manufacturing." Ceramic Industry 160(9): 16-19.

Howell, V. W. (2011). "Kaizen Events." Ceramic Industry 161(12): 30-32.

Howell, V. W. (2013). "Value Stream Mapping." Ceramic Industry 163(8): 24-26.

Kilpatrick, J. (2003). "Lean Principles." Utah Manufacturing Extension Partnership.

Law, A. M. (2003). How to conduct a successful simulation study. Simulation Conference, 2003. Proceedings of the 2003 Winter.

Manual da Qualidade da VAA. [Documento interno da Fábrica Vista Alegre] Ílhavo: s.n., 2013.

McGivern, M. H. and A. Stiber [s.d.]"Lean Manufacturing Techniques." DDI: Development Dimensions International.

Melton, T. (2005). "The benefits of lean manufacturing - What lean thinking has to offer the process industries." Chemical Engineering Research & Design 83(A6): 662-673.

Oliver, N., et al. (2007). "Lean principles and premium brands: conflict or complement?" International Journal of Production Research 45(16): 3723-3739.

Ortiz, C. (2008). "Lean Manufacturing as a Growth Creator." Ceramic Industry 158(8): 19-23.

Parks, C. M. (2002). "Instill lean thinking." Industrial Management (Norcross, Georgia) 44(5): 14-18.

Pavnaskar, S. J., et al. (2003). "Classification scheme for lean manufacturing tools." International Journal of Production Research 41(13): 3075-3090.

Sayer, N. J. and B. Williams (2007). Lean For Dummies, Wiley Publishing, Inc.

Searcy, D. L. (2012). "UNLEASHING LEAN'S POTENTIAL, ONE BEHAVIOR AT A TIME." Strategic Finance 93(7): 41-45.

Shah, R. and P. T. Ward (2003). "Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance." Journal of Operations Management 21(2): 129-149.

Shah, R. and P. T. Ward (2007). "Defining and developing measures of lean production." Journal of Operations Management 25(4): 785-805.

Southworth, T. (2010). "Muda, mura, muri." *Label & Narrow Web* 15(8): 32-33.

Stevenson, W. J. (2012). "Operations Management." New York: McGraw-Hill/Irwin.

Towill, D. R. (2007). "Exploiting the DNA of the Toyota production system." *International Journal of Production Research* 45(16): 3619-3637.

VAA – Vista Alegre Atlantis, SGPS, SA. 2009. Relatório & Contas 2009. Lisboa: s.n., 2009.

VAA – Vista Alegre Atlantis, SGPS, SA. 2012. Relatório & Contas 2012. Lisboa: s.n., 2012.

Vista Alegre Atlantis (org.). Tinteiro tarde piaste Clube 2013 | Vista Alegre Atlantis, [s.d.]. [Http://www.myvistaalegre.com/pt/clube-2013-tinteiro-tarde-piaste-21118910-pt](http://www.myvistaalegre.com/pt/clube-2013-tinteiro-tarde-piaste-21118910-pt), consultado em 28 de Abril de 2014.

Warnecke, H. J. and M. Huser (1995). "Lean production." *International Journal of Production Economics* 41(1-3): 37-43.

Wilson, L. (2010). "How To Implement Lean Manufacturing." The McGraw-Hill Companies, New York.

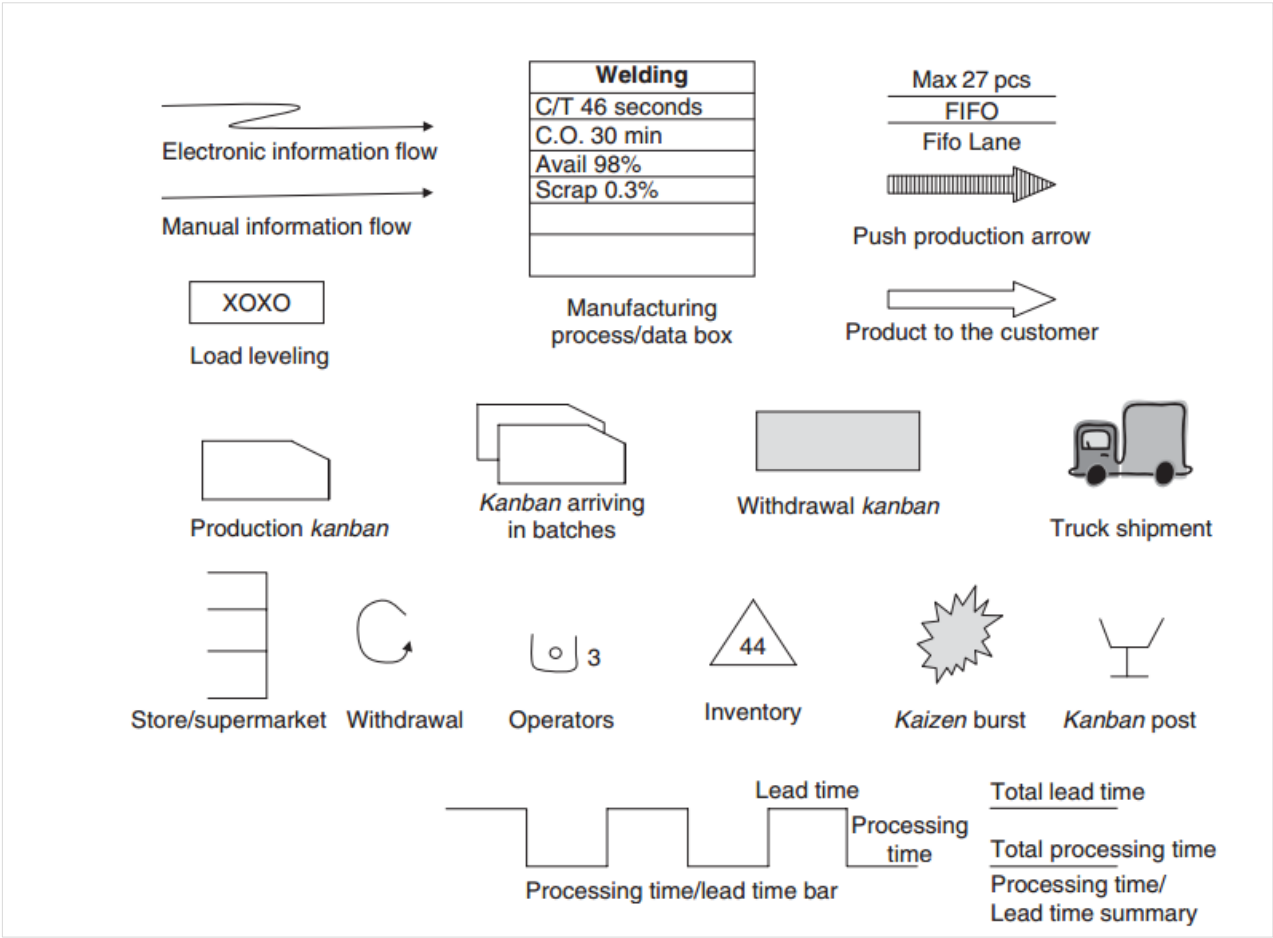
Womack, J. and D. Jones (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, Revised and Updated, Free Press.

Womack, J., et al. (1991). *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production*, {Harper Perennial}.

Womack, J. P. (2002). "Lean thinking: Where have we been and where are we going?" *Manufacturing Engineering* 129(3): L2-L6.

Womack, J. P. and D. T. Jones (1996). "Beyond Toyota: How to root out waste and pursue perfection." *Harvard Business Review* 74 (5).

ANEXO A – SÍMBOLOS DA FERRAMENTA VALUE STREAM MAPPING



ANEXO B – TABELA DE APOIO À ANÁLISE ABC

#	% ref. Acum	Material	Planeador	Designação	T SAP (min)	Vendas	Acumulado de Vendas	% total	% vendas acumulada	Tipo
1	0%	1003778	ALTA PRESSÃO	PRATO RECTANGULAR TAP S/DECOR PN	0,077	84619	84619	11,48%	11,48%	A
2	1%	1003782	ALTA PRESSÃO	PIRES CHA / CAFE TAP S/DECOR PN	0,04	46744	131363	6,34%	17,82%	A
3	1%	1003777	ALTA PRESSÃO	PRATO QUENTE TAP S/DECOR PN	0,064	44543	175906	6,05%	23,87%	A
4	1%	1003776	ALTA PRESSÃO	TAÇA SOBREMESA TAP S/DECOR PN	0,04	43325	219231	5,88%	29,75%	A
5	1%	1003396	ALTA PRESSÃO	PIRES CARRE S/DECOR 05PN	0,036	38063	257294	5,17%	34,92%	A
6	2%	1002116	ALTA PRESSÃO	PR 31 CARRE S/DECOR PN	0,355	17341	274635	2,35%	37,27%	A
73	20%	1004440	ALTA PRESSÃO	PRATO CHEF SEVENTY NINE S/DECOR PN	0,149	1710	592666	0,23%	80%	A
74	20%	1000218	ALTA PRESSÃO	PB PR SALAD SAGR S/DECOR 00PN	0,072	1671	594337	0,23%	80,66%	B
75	20%	1001562	ALTA PRESSÃO	PR SALAD 1/2 LUA LUNA S/DECOR 00PN	0,08	1662	595999	0,23%	80,89%	B
135	37%	1003876	ALTA PRESSÃO	SALADEIRA QUAD 27 BUFET S/DECOR PN	0,326	930	668233	0,13%	90,69%	B
137	37%	1004382	ALTA PRESSÃO	TRAVESSA 41 SILK ROAD S/DECOR PN	0,316	906	670063	0,12%	90,94%	B
138	38%	1003944	ALTA PRESSÃO	PR RASO GOTA 32X28 MULTIFORMA S/DECOR PN	0,306	898	670961	0,12%	91,06%	B
139	38%	36000206	ALTA PRESSÃO	P L111 TARTEIRA 0 26CM BRANCO TR	0,394	895	671856	0,12%	91,18%	B
140	38%	1003917	ALTA PRESSÃO	PIN S/DECOR 00PN	0,071	893	672749	0,12%	91,30%	B
141	38%	1000229	ALTA PRESSÃO	PB TRAV CANTÃO S/DECOR 06PN	0,383	869	673618	0,12%	91,42%	B
142	39%	1003525	ALTA PRESSÃO	SALADEIRA PEQ ORGANIC S/DECOR PN	0,056	869	674487	0,12%	91,54%	B
183	50%	1004667	ALTA PRESSÃO	PB OVAL MEDIO 30 MARE'S S/DECOR PN	0,268	567	704882	0,08%	95,66%	B
184	50%	1001407	ALTA PRESSÃO	PB TRAV ESCORIAL 029 S/DECOR 00PN	0,356	553	705435	0,08%	95,74%	C
185	50%	1004380	ALTA PRESSÃO	TRAVESSA 26 SILK ROAD S/DECOR PN	0,149	544	705979	0,07%	95,81%	C
193	52%	1004316	ALTA PRESSÃO	PRATO QUAD LISO 24X24 COUVERT S/DEC PN	0,31	488	710150	0,07%	96,38%	C
195	53%	1004551	ALTA PRESSÃO	TRAV OVAL MULTIF 38X24 S/MARC S/DECOR PN	0,396	476	711111	0,06%	96,51%	C
196	53%	36000565	ALTA PRESSÃO	PGN GN21 TAMPÁ 325X265MM BRANCO TR	0,408	469	711580	0,06%	96,57%	C
231	63%	36000069	ALTA PRESSÃO	P B B22A ASSAD QUAD 16CM BRANCO TR	0,2	275	724752	0,04%	98,36%	C
232	63%	1002248	ALTA PRESSÃO	PR SOPA ORGANIC S/DECOR PN	0,123	272	725024	0,04%	98,40%	C
285	77%	1004552	ALTA PRESSÃO	SALADEIRA 28 BUFET S/MARCA S/DECOR PN	0,342	100	734369	0,01%	99,67%	C
339	92%	1004047	ALTA PRESSÃO	BAND BAG CARRE VID PRETO PN	0,146	2	736786	0,00%	99,99%	C
340	92%	36000324	ALTA PRESSÃO	PVL VIRO ASS RECT 32,5CM BRANCO TR	0,407	2	736788	0,00%	100,00%	C
341	93%	36000320	ALTA PRESSÃO	PVL VIQ23 ASS.QUA 23,5CM BRANCO TR	0,323	1	736789	0,00%	100,00%	C

ANEXO C – QUANTIDADE DE STOCK NA SEÇÃO DE VIDRAÇÃO NO FINAL DO DIA, ANTES (A) E DEPOIS (B) DAS ALTERAÇÕES

A

	Referência	Qt
Cavalete 1	Chavena organic tap 3 cl	504
Cavalete 2	Caneca Synergy	30
Cavalete 3	bandeja retangular carre;	9
	Chavenas café	68
	pires cha caffe organic	8
	tampas terrinas Mar VA	5
	terrinas Mar VA	7
Cavalete 4	Caneca Synergy	216
Cavalete 5	terrinas	5
	terrina	1
Cavalete 6	Chavenas domo	450
Cavalete 7	Saladeira grande	1
Cavalete 8	Caneca Synergy	207
Cavalete 9	jarra jocker	10
	asas	81
Cavalete 10	tigelas	216
Cavalete 11	tigelas	216
Cavalete 12	prato lunar concavo o! Moon	32
Cavalete 13	tigelas	15
Cavalete 14	pires	468
Cavelete 15	pires	48

Total 2093

B

	Referência	Qt
Cavalete 1	Saladeira Zwilling	36
Cavalete 2	Saladeira Zwilling	44
Cavalete 3	Saladeira Zwilling	60
Cavalete 4	Jarras	91
Cavalete 5	terrinas	5
Cavalete 6	Chávenas	64
Cavalete 7	Chávenas	82

Total 346

ANEXO D – ESTUDO DO DIÂMETRO DOS *BUFFERS* A UTILIZAR

Diâmetro Roda (m)	Designação	Capacidade stock (nº peças)	Tempo Abastecer (s)	Tempo Consumo - Vidragem (s)	Dif. Tempo (s)	Tempo disp. p/ entre ajuda (s)
1,5	PB TIG. FRUTAS COMUM 830/13	42	3,39	3,94	0,55	23,10
	TIGELA 16 BUFFET S/DECOR PN	36	5,26	4,1	-1,16	0,00
	CENTRO WHEEL BALLET S/DECOR 00PN	6	20,06	30,25	10,19	61,14
	SALADEIRA 28 SILK ROAD S/DECOR PN	12	8	12,6	4,6	55,20
1,8	PB TIG. FRUTAS COMUM 830/13	51	3,39	3,94	0,55	28,05
	TIGELA 16 BUFFET S/DECOR PN	44	5,26	4,1	-1,16	0,00
	CENTRO WHEEL BALLET S/DECOR 00PN	8	20,06	30,25	10,19	81,52
	SALADEIRA 28 SILK ROAD S/DECOR PN	17	8	12,6	4,6	78,20
2,31	PB TIG. FRUTAS COMUM 830/13	70	3,39	3,94	0,55	38,50
	TIGELA 16 BUFFET S/DECOR PN	62	5,26	4,1	-1,16	0,00
	CENTRO WHEEL BALLET S/DECOR 00PN	12	20,06	30,25	10,19	122,28
	SALADEIRA 28 SILK ROAD S/DECOR PN	24	8	12,6	4,6	110,40

ANEXO E – ESTUDO DE SIMULAÇÃO DO ACABAMENTO MEAP

USING LEAN PRINCIPLES & SIMULATION FOR PRODUCTIVITY IMPROVEMENT: THE CASE OF A CERAMIC INDUSTRY

Tiago Silva^(a), Ana Luísa Ramos^(b), José Vasconcelos Ferreira^(b)

^(a)DEGEI - Department of Economics, Management and Industrial Engineering, University of Aveiro, Campo de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal

^(b)GOVCOPP Research Unit / DEGEI - Department of Economics, Management and Industrial Engineering, University of Aveiro, Campo de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal

^(a)tgs@ua.pt, ^(b)aramos@ua.pt, josev@ua.pt

ABSTRACT

In this work is illustrated an application of lean principles & simulation in order to increase shop-floor productivity at Vista Alegre Atlantis, SA, a well-known Portuguese ceramic industry. The case study reported in this paper is the outcome of the business internship program sponsored by the Department of Economics, Management and Industrial Engineering of University of Aveiro for the students in the Industrial Management and Engineering master program. A simulation model of the current operation of the finishing section was developed, along with the creation of a value stream mapping and the identification of waste, in order to ascertain its limitations and problems. The relevant operational performance measures such as throughput, work-in-process, and queue statistics, were analyzed to allow the proposal of a set of changes to the existing manufacturing operations. The outcome of the simulation study was taken into account by the decision-makers and the recommendations are being implemented.

Keywords: lean manufacturing, productivity, simulation, ceramic industry

1. INTRODUCTION

Nowadays industry is facing a change in market conditions and customers' requirements. Many organizations are competing in a "red ocean" (Kim and Mauborgne 2005) struggling to reduce production costs and maintain a certain margin of profit.

Lean manufacturing concepts and tools are proving to be a good practice for those organizations who want to become more competitive through waste reduction and value-added creation, despite some criticism regarding aspects such as the human factor and the capacity to deal with variability (Hines et al. 2004) or the critical differences between the application of lean principles in a discrete manufacturing environment and in a continuous process manufacturing environment (Howell 2010). Typically, as frequently referred in the literature, the major benefits of adopting lean manufacturing principles and tools include inventory and lead time reduction, improved product quality and

essentially waste (*muda*) elimination, i.e., everything that our customer is not willing to pay for (Melton 2005).

Uncertainty in demand has become the new challenge in ceramic industry (Grahl 2003). In order to fulfil customer requirements, ceramic industries must be able to adapt their level of productivity and their time of response to market as well as improving their level of quality, being "focused on continuous improvement" (Howell 2011).

The study reported in this paper was carried out at Vista Alegre Atlantis, SA, (Figure 1) a distinguished Portuguese ceramic industry that is facing the problems mentioned above and that needs to increase shop-floor productivity while maintaining high levels of quality and flexibility.



Figure 1: Ceramic art from Vista Alegre
(source: <http://www.myvistaalegre.com/pt/>)

The study focus the elimination of waste and the creation of value to the customer. Using lean manufacturing principles and tools and simulation techniques was possible to analyze different scenarios seeking for the one who meet the new market challenges.

2. SYSTEM IN ANALYSIS: THE FINISHING SECTION

Through the observation of *gemba* it was possible to analyze the current layout of the finishing section, the main processes and the current flow of materials and information. This section finishes the pieces produced in the two high-pressure machines Netschz and Sama. As can be observed in Figure 2, the finishing section

has three workstations (P1, P2 and P3) being P1 and P2 responsible for making the finishing operations and P3 for storing the pieces in the transporter (to be transported for the downstream process) and recording the pieces produced. When needed, P3 makes some finishing operations. If the pieces that are being conformed in the high-pressure machines have a long finishing time, then some are processed completely in workstation P1 and others are sent unfinished to P3.

Between P1 and P3 there is a round turntable which is used as a WIP buffer and between P2 and P3 there is a conveyor which also serves as a WIP buffer.

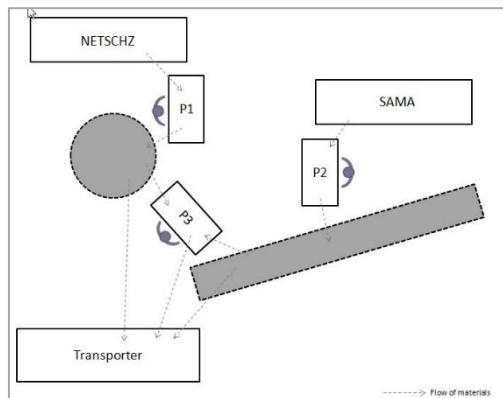


Figure 2: Layout of the finishing section

In this first analysis, it was possible to observe that exists a considerable amount of stock in buffers during the process. With this first information obtained in the field it was made a Value Stream Mapping (VSM) and a process chart (Figure 3) in order to map the activity, providing a better understanding of the process in analysis and in order to find opportunities for improvement.

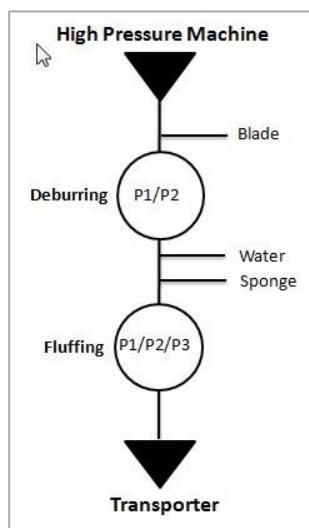


Figure 3: Process chart for the finishing process

This section works in continuous labor with four shifts, each one works eight hours a day. The machines don't have high setup times or other significant constrains.

While looking at the process in *gemba* it was possible to identify several types of *muda* such as waiting, transportation and movement.

It is believed that this section is operating below its capacity due to flow inefficiencies. The time that pieces are waiting to be processed causes high costs associated with non-quality. The actual level of productivity is estimated in 80% and every shift finishes an average of 2000 pieces.

3. DEVELOPING THE SIMULATION STUDY

Simulation is becoming a key strategy in order to describe and analyze different scenarios in industrial plants, because it supplies fundamental data of the new system without implementing it, becoming a cheaper solution (Bruzzone et al. 2013). Simulation can be utilized to explore and document potential opportunities for improvement and it is especially useful in the presentation of results to the direction board (Adams et al. 1991).

Longo (2011) states that modelling and simulation is the best methodology for solving problems in real world complex systems.

Bruzzone et al. (2013) suggest that a simulation model must follow a set of steps in order to achieve the maximum potential of the methodology. In recent years, a lot of research in how to develop a simulation study has been made and it is possible to conclude that the required steps to achieve the best path include problem formulation, conceptual modelling and data collection, operational modelling, verification and validation (V&V), experimentation, and output analysis (Kelton et al. 2010).

The use of simulation is particularly advantageous when the complexity or operational variability of the systems under study renders the application of purely analytical models impossible.

3.1. Formulating the problem

A simulation model of the current operation of the finishing section was developed. The main objective of this simulation study was to document the current state of the section in analysis, identify waste (*muda*) in the process, and improving productivity in 15 % by using lean tools and concepts in the model.

The relevant operational performance measures such as throughput, work-in-process, and queue statistics, were analyzed to allow the proposal of a set of changes to the existing manufacturing operations.

The model was developed using Arena® software from Rockwell Software. This benchmark software is the adopted environment for the simulation courses at University of Aveiro, providing the required features to develop, analyze and animate valid and credible simulation models.

3.2. Conceptual modelling and input data collection

In developing the simulation model particular care was taken to model the finishing process as close to reality as possible. In this stage it was necessary to determine

which data would be necessary to use in the model and if this information was available. Talking to a ceramic engineer of the plant it was possible to find that most of the information required was stored in the enterprise information system SAP, but data was not trustable (in some cases).

For example, the data provided by SAP for the processing times of the components were not valuable since were outdated. The solution was to measuring the times in the field. In this stage, a constrain appeared. In this section, thousands of references are processed, and the processing times vary substantially for different references. Thus, an ABC analysis was made in order to identify the most relevant references and simplify this input parameter. It was possible to conclude that four references represent 22% of the total production. These four references were used to determine the processing times used as input in the simulation model.

The time between arrivals for the pieces who would be processed in the model, coming from the two distinct high-pressure machines, has been determined using SAP and was considered as a deterministic input parameter.

The availability of data for the processing times of the tasks involved in the finishing process allowed the fitting of proper distributions to these data. The distributions and its parameters were selected using the Arena's software module Input Analyzer (Figure 4). The distributions obtained were analyzed trough visual inspecting, square error value and p-value, in order to guarantee a "good" fit.

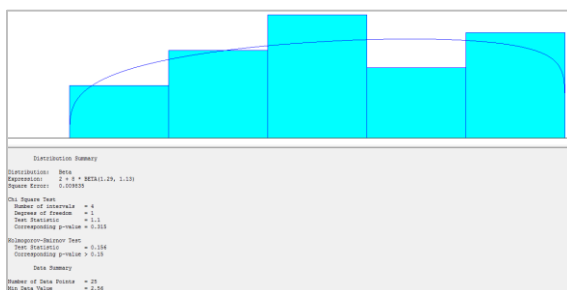


Figure 4: Fitting values to a standard distribution using input analyzer

Regarding material handling operations, a round turntable and a conveyor transport the pieces, and both have buffer functions as well. They were modeled as conveyors and the data necessary was gathered on the field, such as length or velocity. As neither maintenance procedures nor equipment failures influence significantly the regular operation of the system, these were ignored.

One of the *muda* found was movement, that is, human resources have to leave their working stations to get the pieces they need to work and then pass those pieces to the next process. This *muda* was modeled considering the operator in the workstation as the transporter resource. The priority of the process was considered "high" and the priority of the transportation

was considered "low". This way the operator finishes the component before getting another one. Since the transportation time varies, input data were gather on the field and then fitted to a standard distribution using input analyzer.

3.3. Operational modelling

As already mentioned, the simulation model of the actual ceramic finishing system was developed using the Arena simulation software. This model was used to: (i) allow for a better understanding of the actual system, (ii) identify critical aspects and opportunities for improvement, (iii) gain the confidence of the decision makers and (iv) try lean solutions in order to improve the productivity of the system-in-analysis.

The run parameters of the model were defined as following:

- Replication length: 1 day of operation;
- Number of replications: 10.

The number of replications was determined through a trial-and-error approach until confidence intervals were reasonable.

The operational model was developed using several modules from Arena templates and it was developed a 2D animation model (Figure 5) illustrating the dynamic behavior of resources, transporters, conveyors, and buffers.

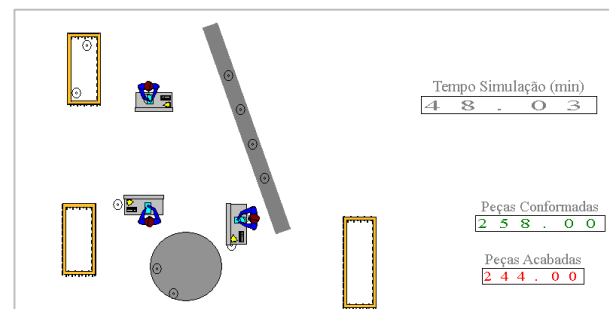


Figure 5: Animation model of the finishing section actual layout

After the operational modelling phase of the study it was conducted the V&V phase and the results were analyzed.

3.4. Verification and Validation (V&V)

The model was verified and validated using different techniques such as animation, internal validity, predictive validation, structured walkthrough, and examination of model traces. The team member who accompanied the project on site was crucial in this process, as he combined the knowledge of the simulation tool being used with the perception gained on the finishing process details.

The animation and the comparison of predicted performance measures with the known behavior of the current system (predictive validation), were the dominant techniques employed, as they allowed the

involvement of the decision makers in the validation process.

When the model was experimented, for the first time, the throughput value was 33% lower than the expected value. This occurred due to a fail in the input data. It was considered that the capacity of the human resources was one, when in fact, when transporting components they carry one, two or more depending on the size and weight of the pieces. This parameter was refined and the output values become validated.

The verification and validation process was crucial for gaining the decision-makers' confidence in the outcome of the simulation study.

3.5. Output Analysis

After V&V the model was run and the output data analyzed. A bottleneck analysis was made in order to determine possible causes for the existing low level of productivity.

Analyzing the output given by the simulation model it was possible to extract the following results (statistical estimates of the performance measures based on 95% confidence intervals):

- The total number of pieces created by the high-pressure machines was 2532.
- The average throughput of the finishing section was 2027 pieces.
- Work in progress for "pieces for finishing" was, in average, $26,7 \pm 1,15$ and "pieces for transporter" was of $145,48 \pm 2,42$.
- Workstation 2 is the one which retains the pieces more time, this value is in average $55,9 \pm 0,6$ seconds and workstation 3 is the one which retains the pieces less time ($25,8 \pm 1,2$ seconds).
- The waiting time since the components are created in Netschz until they start to being processed is in average $20,2 \pm 1,05$ minutes, and in Sama it is $31,3 \pm 0,55$ minutes, which causes a high number of components waiting to be processed after the high-pressure machines.
- The operator 2 is being in utilization an average of $98,6\% \pm 0,01$. Operator 3 is the one who is less occupied being in utilization an average of $55,6\% \pm 0,01$.

Observing this information, it was possible to conclude that the number of finished components represents approximately 80% of productivity, which is very similar to the data observed on the shop-floor. Operator 2 is the bottleneck, being in use most of the time, while operators 1 and 3 have some idle time.

A large number of pieces is being produced by the high-pressure machines but the actual organization of the finishing section does not have capacity to finish all the production. This bottleneck creates a considerable number of intermediate stock and work in progress.

These factors have a negative effect on the quality level of the final product.

3.6. New scenario for the finishing section

Given the attained simulation results, the objective was then to redesign the finishing section in order to achieve a growth of 15% in productivity.

Some changes were made in the layout of the section to provide a better flow of materials and to concentrate the waste in one operator, the "logistics operator". The function of this operator is to do all the operations (e.g., transportation) that do not create value to the final consumer but are necessary in the process. If he has some idle time, he will help the other operators to finish some pieces.

Figure 6 depicts the proposed solution for the new layout of the finishing section. The idea is to have a cellular layout with operators that are concentrated exclusively in creating value.

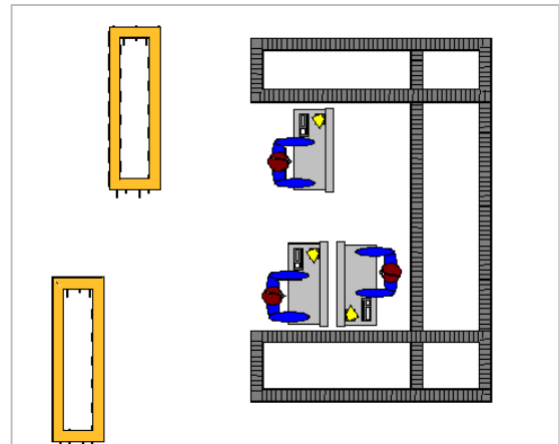


Figure 6: New layout for the finishing section

For this simulation it were considered the same conditions of the previous model for the creation of pieces. This time is deterministic so, maintaining the same replication parameters it is expected to obtain an equal number of created pieces. In the processing time of the pieces by operators 1 and 2 it were excluded movement and transportation times, because these operators are now focused only in creating value.

The results for this new simulation scenario were the following:

- The total number of pieces created by the high-pressure machines was 2532.
- The average throughput of the finishing section was 2403 pieces.
- The work in progress for Netschz pieces was in average $40,9 \pm 1,15$ pieces and for Sama was $40,9 \pm 1,14$ pieces;
- Value added time for Netschz pieces was in average 0.64 minutes and for Sama $0,63 \pm 0,01$ minutes.
- The waiting time since the components are created in Netschz until they start to being

processed is in average $13,9 \pm 0,42$ minutes, and in Sama it is $13,8 \pm 0,41$ minutes.

- All resources are being used approximately in average 97% of the time.

4. DISCUSSION

Analyzing the values obtained in the different simulations we can conclude that with the introduction of relatively small lean-based modifications the system-in-analysis was able to finish more 16% components that those which are finished today (the objective was 15% of improvement).

The proposed cellular layout provided a continuous flow, which reduced substantially the work in progress, and the time components were waiting to be processed. All the operators are occupied almost 100% (Figure 7 and Figure 8) of the time, and operators 1 and 2 are dedicated to operations that create value, while operator 3 has concentrated all the *muda* operations that are required but do not create value (supply, per example).

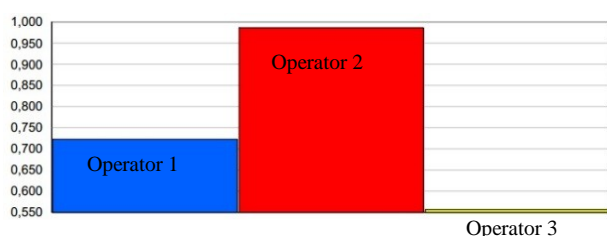


Figure 7: Operators' utilization before modifications

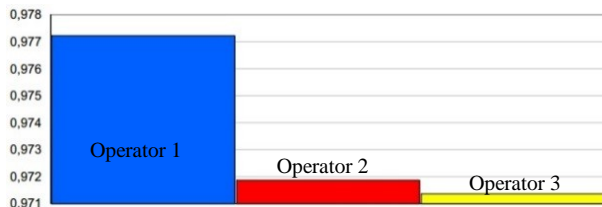


Figure 8: Operators' utilization after modifications

As one can see, the operation of the finishing section for the new scenario is smoother, that is, the workload is now more evenly distributed, the WIP is considerably lower, and the productivity is increased by 16%, as desired.

Other scenarios are being studied by the company such as the option of including one more operator in the section and the opportunity to increase the output rate of the high-pressure machines.

5. CONCLUSION

The development of successful projects involving both the universities and the industry is, generally, difficult to undertake. In the project presented in this paper this difficulty in communication was overcome, due to the fact that one of the university team members worked fulltime within the company throughout the duration of the project. He not only established a privileged communication channel between the university and the company, but also directed management and staff attention to the project.

During the development of the simulation study, formulating the problem and gathering data were the critical steps (the most complex and most time expensive).

Simulation studies can become a powerful tool for analyzing the actual state of a factory or section, and for analyzing possible modifications to the actual state, using DoE and comparing the outputs. This is especially efficient if all intervenient are focused on the goal.

By testing new scenarios in a simulation environment it is possible to save money spend in disrupting systems or implementing "poor" operational solutions. Using simulation techniques involves considerable costs of software and training but, the benefits of using this tool to dynamic evaluate complex systems are unique and can faster outweigh the initial investment.

The company's goals were fully attained and the suggested modifications to its manufacturing operations are being implemented, as a result of the outcome of the simulation study.

This successful case study of university/industry interaction in the simulation field can be used as a showcase to the benefits that SME's can get from the use of simulation.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank to Vista Alegre Atlantis, SA management and staff, and in particular to Eng. Joana Ribeiro, for allowing us free access to all the information used, for their contribution to the project and for their willingness to allow us to share this experience.

This work is funded by FEDER funds through COMPETE (Operational Programme Factors of Competitiveness) and by National Funds through FCT (Foundation for Science and Technology) in the context of the project PEst-C/CJP/UI4058/2011.

REFERENCES

- Adams, M., Componation, P., Czarnecki, H. and Schroer, B., 1999. Simulation as a tool for continuous process improvement, in *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, 766 - 773.
- Bruzzzone, A., Madeo, F., Dallorto, M., Poggi, D., and Ferrando, A., 2013. Different modeling and simulation approaches applied to industrial process plants, *Simulation Series*, 45(5), 39 - 46.
- Grahl, C., 2003. Going Lean. *Ceramic Industry*, 153(6), 6.
- Hines, P., Holweg, M. and Rich, N., 2004. Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking, *International Journal of Operations & Production Management*, 24(10), 994 - 1011.
- Howell, V., 2010. Lean Manufacturing. *Ceramic Industry*, 160(9), 16 - 19.
- Howell, V., 2011. Kaizen Events. *Ceramic Industry*, 161(12), 30 - 32.

- Kelton, W., Sadowski, R. and Swets, N., 2010. *Simulation with Arena*, 5th ed., McGraw-Hill Higher Education, New York.
- Kim, C., and Mauborgne, R., 2005. *Blue Ocean Strategy: How to Create Uncontested Market Space and Make the Competition Irrelevant*. Cambridge, MA: Harvard Business School Press.
- Longo, F., 2011. Supply Chain Management Based on Modeling & Simulation: State of the Art and Application Examples in Inventory and Warehouse Management, in *Supply Chain Management*, InTech.
- Melton, T., 2005. The benefits of lean manufacturing: What lean thinking has to offer the process industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(6 A), 662 - 673.

AUTHORS BIOGRAPHY

TIAGO SILVA was born in Esmoriz, Portugal and went to Aveiro University, where he studies Industrial Engineering and Management. Currently he is doing an internship at Vista Alegre Atlantis, SA, in the ceramics sector. His e-mail address is tgs@ua.pt.

ANA LUÍSA RAMOS was born in Portugal in 1974. She received the M.Sc. degree in computers engineering from the University of Coimbra, Coimbra, Portugal, in 2002 and the Ph.D. degree in industrial management from the University of Aveiro, Aveiro, Portugal, in 2011. She is an Assistant Professor of Management and Industrial Engineering with the University of Aveiro, where she is member of the Department of Economics, Management and Industrial Engineering Executive Board and Council. Her research work focuses on modelling and simulation, and model-based systems engineering, mainly in the industrial and transportation sectors.

JOSÉ VASCONCELOS FERREIRA was born in Portugal in 1960. He received the M.Sc. degree in operational research and systems engineering from the Technical University of Lisboa, Lisboa, Portugal, in 1989, and the Ph.D. degree in engineering sciences from the University of Porto, Porto, Portugal, in 2005. He is an Assistant Professor of Management and Industrial Engineering (MIE) with the University of Aveiro, since 2005, where he is Director of the MIE doctoral program, and Member of the Department of Economics, Management and Industrial Engineering Council. He has more than twenty years of experience collaborating with the main urban mass transit companies in Portugal. His research work focuses on systems engineering, logistics, multivariate data analysis, and operational planning at mass transit companies.